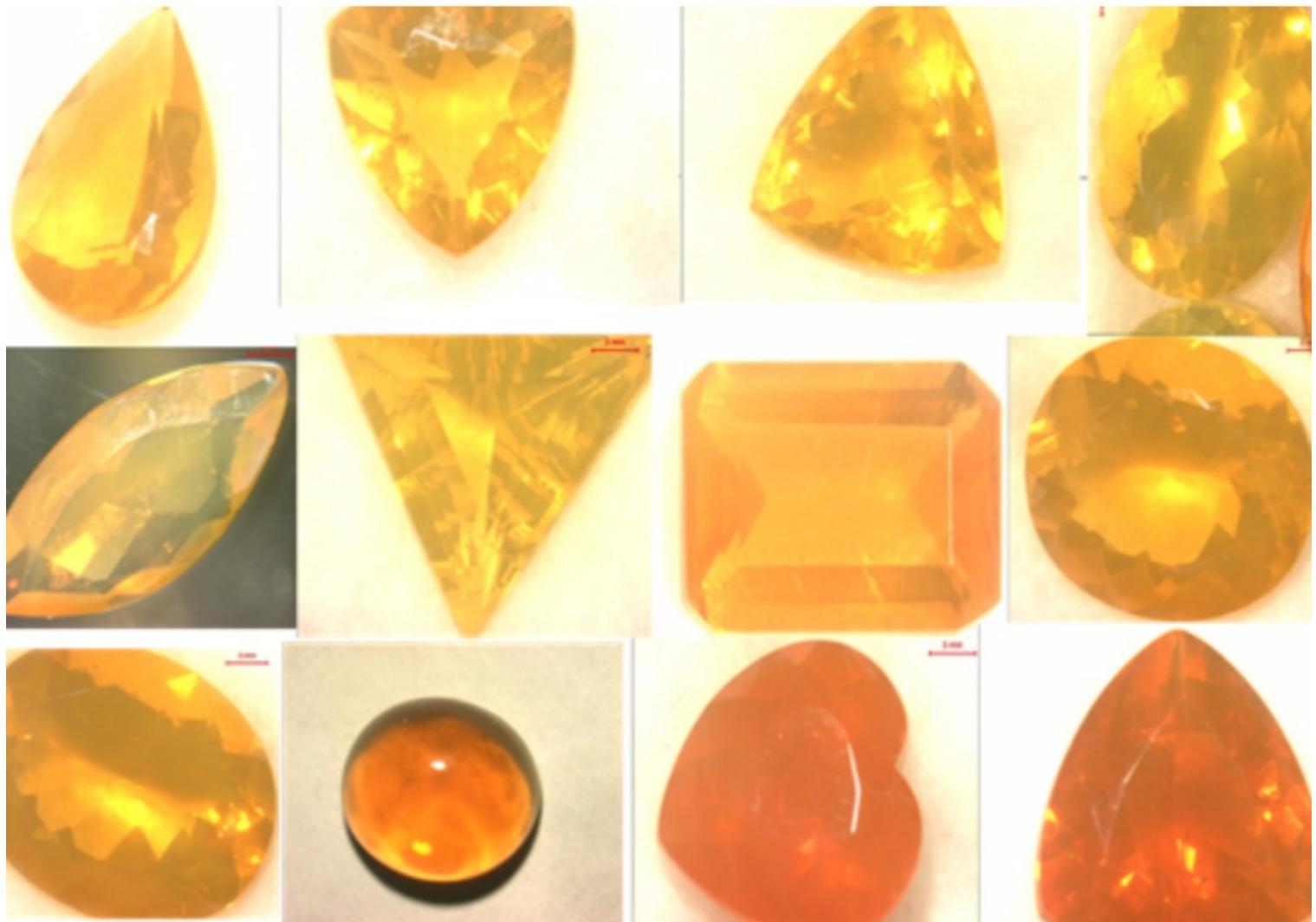




**REVISTA
DA ACADEMIA
DE CIÊNCIAS
DO PIAUÍ**

Vol. 3, nº 03, jan. a jul. de 2022



**GEODIVERSIDADE
PIAUIENSE**

ISSN-2675 9748



EDITOR-CHEFE
VALDIRA DE CALDAS BRITO VIEIRA

COMISSÃO EDITORIAL

Matemática: Paulo Alexandre Araújo Sousa e Barnabé Pessoa Lima; **Ciências Físicas :** Helder Nunes da Cunha e Jônathas de Barros Nunes; **Ciências Biológicas:** Antônio Alberto Jorge Farias Castro e Fabrício Pires de Moura Amaral; **Ciências da Saúde:** Viriato Campelo e Luiz Ayrton Santos Júnior; **Ciências da Terra:** Érico Rodrigues Gomes e Francisco Lages Correia Filho; **Ciências da Engenharia:** Ivan Saraiva Silva e Paulo de Tarso Cronemberger Mendes; **Ciências Sociais:** Iracilde M. de Moura F. Lima e Dante Ponte de Brito; **Ciências Biomédicas:** Paulo Henrique da C. Pinheiro e José Guilherme Ferrer Pompeu; **Ciências Químicas:** Edson Cavalcanti da S. Filho e Josy Antevelli Osajima Furtini; **Ciências Agrárias :** Rômulo José Vieira e João Batista Lopes

CONSELHO CIENTÍFICO

Matemática: Glaydston de Carvalho Bento (UFG), Gregório Pacelli Feitosa Bessa (UFC), Eyder Franco Sousa Rios (UESPI) e Victor Augusto Giraldo (UFRJ); **Ciências Físicas:** Ildeu de Castro Moreira- (UFRJ), Rodolpho Carvalho Leite (IFPI), Roberto Mendonça Faria (USP), **Ciências Químicas:** Eduardo Rezende Tribonier (USP) Gilvan, Moreira da Paz (IFPI), Keiko Takashima (UEL), Maria Amparo F. Faustino (Univ. de Aveiro/Portugal), Maria Gardennia da Fonseca (UFPB) e Edvani Curti Muniz (UFPI); **Ciências Biológicas:** Antônio Alberto Jorge Farias Castro (UFPI), Francisca Soares de Araújo (UFC), Fernando Roberto Martins (UNICAMP), Guilherme Barroso (UFPI), Luciano Figueiredo (UESPI) e Clautina Ribeiro de Moraes da Costa (IFPI); **Ciências da Saúde:** Lígia Regina F. Sansigolo Kerr (UFC) Josimario Silva (UFPE), Jacenir Reis dos S. Mallet (FIOCRUZ/PI) e Maurício Pires de Moura do Amaral (UFPI); **Ciências da Terra:** Afonso Cesar Rodrigues Nogueira (UFPA), Luiz Fernando C. Leite (Embrapa Meio Norte) e Marcondes Lima da Costa (UFPA); **Ciência da Engenharia :** Paulo de Mattos Pimenta (USP) e Ricardo Augusto da Luz Reis (UFRS); **Ciências Sociais:** Raimunda Ribeiro (UESPI) , Nize da Rocha S. Paraguassu Martins (UESPI) , José James G. Pereira (EJUD-PI/TJ-PI), Marcelo de Sousa Neto (UESPI), Marcia Maria Menendez Motta (UFF) , Nelson Juliano Cardoso Matos (UFPI)

e Cristina Helena R. Rocha Augustin (UFMG); **Ciências Biomédicas:** Cláudio Heliomar Vicente da Silva (UFPE) e Marcoeli Silva de Moura (UFPI); **Ciências Agrárias:** Alexandre Rodrigues, Silva (UFERSA-RN), Carminda Sandra B. Salmito Vanderley (UECE), José Evando Aguiar Beserra Júnior (UFPI), José Ferreira Nunes (Veterinária/UECE), Josélia de Andrade Moura (UDF), Sebastião Medeiros Filho (UFC) e William Gomes Vale (UFPA)

EDITOR DE LAYOUT

Francicleiton de Pinho Cardoso

APOIO TÉCNICO

Aline Maria Silva Sousa
João Paulo Nunes de Almeida
Josias Gomes dos Santos Neto

COORDENADOR DA EDIÇÃO

Prof. Dr. Juan Carlos Cisneros
Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo
Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes
Prof. Dr. Afonso Cesar Rodrigues Nogueira

PARECERISTAS DESSA EDIÇÃO

Prof. Dr. Juan Carlos Cisneros
Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo
Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes
Prof. Dr. Afonso Cesar Rodrigues Nogueira

FICHA CATALOGRÁFICA

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Ano 3, Nº 03, Jan a Jun.
de 2022.

ISSN: 2675-9748

Semestral

Publicação On line

1.Ciência 2. Multidisciplinaridade. 3 .Tecnologia. 4. Cultura.
Academia de Ciência do Piauí. Fundação de Amparo a Pesquisa
do Estado do Piauí . Universidade Federal do Piauí.

SUMÁRIO

Apresentação e Editorial

- Abordagem Sobre Os Conceitos De Geodiversidade, Geoconservação E Geopatrimônio 08 - 17

Emerson Alves de Carvalho, Cláudia Maria Saboia de Aquino

- Elementos da Geodiversidade para a Geoconservação do Litoral do Piauí..... 18 - 34

Brenda Rafaela Viana da Silva, Elisabeth Mary de Carvalho Baptista, Liége de Souza Moura

- Valor Turístico dos Geomorfossítios do Município de Castelo Do Piauí, Piauí, Brasil..... 35-54

Cláudia Maria Sabóia de Aquino, Renê Pedro de Aquino, Jhony Gonçalves de Lima, Helena Vanessa Maria da Silva

- Geodiversidade e Geoturismo no Município de Castelo do Piauí: Potencialidades de Quedas D'água do Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Poti, Piauí..... 55-71

Helena Vanessa Maria da Silva, Cláudia Maria Sabóia de Aquino

- Cânion do Rio Poti: Um Cenário da História Geológica Planetária da Bacia do Parnaíba..... 72 - 90

José Sidiney Barros

- A Gênese Hidrotermal da Opala no Estado do Piauí 91- 105

Érico Rodrigues Gomes, Marcondes Lima da Costa & Gisele Tavares Marques

- As Variedades de Quartzo de Batalha (Piauí) e sua Associação com as Mineralizações de Sio 2 (Calcedônias E Opalas) Na Bacia Do Parnaíba, Brasil..... 106 - 122

Alan Felipe dos Santos Queiroz, Marcondes Lima da Costa, Érico Rodrigues Gomes

- As Opalas de Pedro II e Buriti dos Montes,Piauí 123 - 133

Érico Rodrigues Gomes, Marcondes Lima da Costa & Gisele Tavares Marques

- Evidências De Antigas Glaciações No Sertão Nordestino 134 – 156

Afonso César Rodrigues Nogueira; Ana Maria Góes, José Bandeira, Ivan Alfredo Romero Barrera, Renato Sol Paiva de Medeiros; Renan Fernandes dos Santos; Pedro A Silva; Joelson Lima Soares

- Glaciação no Piauí: Um Olhar sobre o Pavimento de Estrias Glaciais em Calembre, Brejo do Piauí.....147 – 156

Liliane Alcântara Araújo & Érico Rodrigues Gomes

- Zircão, O Guardião do Tempo: Datação U-Pb Aplicada à Proveniência Sedimentar - Revisão Metodológica e Utilidade no Projeto Biocronorte..... 157 – 176

Nicole Lopes Padilha, Gabriel Bertolini, Juliana Charão Marques, Ana Maria Góes, Afonso César Rodrigues Nogueira, Renato Sol Paiva de Medeiros , Luiz Saturnino de Andrade, Argel de Assis Nunes Sodré ,Denise Moreira Canarim, Paulo A. Souza, Ana Karina Scomazzon, Edvaldo José Oliveira, João Miguel Maraschin Santos

- Expedição Biocronorte à Bacia do Parnaíba:Decifrando A Vida Antiga e o Registro Histórico do Planeta Terra..... 177- 196

Paulo A. Souza, Ana Karina Scomazzon, Afonso César Rodrigues Nogueira, Ana Maria Goes, Argel de Assis Nunes Sodré, Cristina Moreira Félix, Daiana R. Boardman, Edvaldo José Oliveira, Gelson Luís Fambrini, Juliana Charão Marques, Luiz Saturnino de Andrade, Márcia Emilia Longhim, Renato Sol Paiva de Medeiros & Sara Nascimento

- Os Fósseis Além Da Paleontologia – Uma Questão Jurídica..... 197 - 210

Paulo Victor de Oliveira, Maria Somália Sales Viana & Yana de Moura Gonçalves

- O Sertão já foi mar: Registro do Mar Carbonífero Itaituba-Piauí (MIP) em Rochas da Região de José de Freitas, Norte do Estado do Piauí 211 – 223

Renato Sol Paiva de Medeiros, Pedro Augusto Santos da Silva, Afonso César Rodrigues Nogueira, Ana Karina Scomazzon, Guilherme Raffaeli Romero

- Ocorrência de Conodontes e Foraminíferos Bentônicos no Bashkiriano da Formação Piauí, Grupo Balsas, Bacia Do Parnaíba 224 - 241

Sara Nascimento, Sanmya Karolyne Rodrigues Dias, Luciane Profs Moutinho & Ana Karina Scomazzon

- Os Microfósseis e a História da Bacia do Parnaíba Durante o Pennsilvaniano e o Permiano: Idades e Ambientes Sedimentares Revelados Pelos Palinomorfos 242 - 256

Cristina Moreira Félix, Daiana Rockenbach Boardman, Eduardo Premaor, Edvaldo José Oliveira, Rafael Reis Bender, Ana Karina Scomazzon & Paulo Alves de Souza

- Registro Fóssil de Invertebrados da Sequência Permo-Carbonífero da Bacia do Parnaíba..... 257 - 265

Lucieny Raquel da Costa e Silva, Ana Emilia Quezado de Figueiredo & Daniel Costa Fortier

- A Origem Das “Pedras De Fogo” no Estado do Piauí..... 266 – 284

Luiz Saturnino de Andrade & Afonso César Rodrigues Nogueira

- Descrição De Microbialitos Ex Situ Da Formação Pedra De Fogo (Permiano, Bacia Do Parnaíba) No Município De Teresina, Piauí..... 285 - 304

Naíde de Lucas da Silva Neta, Willian Mikio Kurita Matsumura & Érico Rodrigues Gomes

- Descrição de um Novo Espécime de *Quasimodichthys piauhyensis*, Formação Pastos Bons (Jurássico Superior), Bacia Do Parnaíba, Piauí, Brasil..... 305 - 319

Francisca Raiany Soares de Moura, Ana Emilia Quezado Figueiredo & Daniel Costa Fortier

- Um Ovo Fóssil no Piauí.....320 – 335

Dayanne Abreu¹, Paulo Victor de Oliveira & Maria Somália Sales Viana

- Geologia da Bacia do Rio Guaribas.....336 – 352
José Sidiney Barros

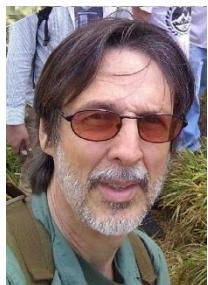
Entrevista Com A Profa Dra Iracildes Moura Fé..... 353 - 364

Revista da Academia de Ciências do Piauí – RACIPI

- Resenha: Livro Geoparque Seridó : Geodiversidade e Patrimônio Geológico No Interior Potiguar..... 365 - 367

Dr Marcos Antonio Leite do Nascimento

EDITORIAL



Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo
- UFC



Prof. Dr. Juan Carlos Cisneros
- UFPI



Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes – IFPI e membro da Academia de Ciências do Piauí.



Prof. Dr. Afonso Cesar Rodrigues Nogueira
- UFPA

Esta edição da Revista da Academia de Ciências do Piauí nos apresenta a rica geodiversidade piauiense. Os processos naturais, geológicos e geomorfológicos foram (e são) responsáveis pela variedade de ambientes e formação das paisagens observadas nas chapadas, planícies, serras, litoral, na semiaridez do embasamento cristalino e seus maciços residuais, nas unidades de conservação natural, sítios paleontológicos, solos, aquíferos, rochas e minerais. Nossa geodiversidade propiciou o desenvolvimento da vida no território piauiense, destacando os valores intrínsecos culturais, estéticos, econômicos, científicos, turísticos e educativos de nosso povo.

Temos conhecimento, na maioria das vezes através das mídias, de locais como: Delta do Parnaíba, Serra da Ibiapaba, formações de Sete Cidades, Serra da Capivara e sua Pedra Furada, Cânion do rio Poti, Floresta Fóssil de Teresina e de Altos, Chapada do Corisco, Planícies de Campo Maior, Pedra do Castelo, Opala de Pedro II, Serra do Gritador, Circuito das águas e cachoeiras; mais recentemente a Capadócia Nordestina e o Cânion do Viana, citando somente os mais frequentes, demonstrando que todo o território piauiense é um grande cenário geodiverso. Precisamos de uma política que estimule a pesquisa e geração de conhecimento a respeito de nosso rico patrimônio natural, de modo que possa ser protegido, gere empregos, renda e seja integrado aos seus habitantes.

O conhecimento geológico é básico, possibilitando a descoberta e fornecimento de insumos para a sustentabilidade de cadeias produtivas primárias e saberes que permitem a compreensão do meio em que vivemos através da descoberta da dinâmica dos

processos que regem os eventos naturais que ocorreram no passado, chaves para o momento presente e planejamento do futuro.

Nossa viagem literária tem início com a resenha do livro Geoparque Seridó, apresentando um caso de sucesso onde a união de esforços de instituições das diversas esferas públicas (federal, estadual e municipais), privada e da sociedade civil, estão fazendo a diferença na proteção e promoção do Geopatrimônio científico, turístico, histórico e cultural do Seridó potiguar, representado principalmente pelas suas rochas, minerais, minérios, fósseis, formas de relevo e rios.

Na seção da entrevista, fomos presenteados com a profa. Dra. Iracildes Moura Fé. Ela compartilha conosco toda sua trajetória profissional dedicada à pesquisa e ensino da geografia, especialmente à geomorfologia e hidrografia dos rios piauienses, os quais conhece em detalhes. Esta vivência foi coroada com a edição do Livro-homenagem "Iracilde e os Estudos Geográficos: 50 anos de história".

O primeiro artigo apresenta de modo didático, a evolução dos conceitos de geodiversidade, geoconservação e geopatrimônio, compartilhando os saberes dos principais especialistas. No capítulo seguinte, o quarto, somos brindados com os elementos da geodiversidade para a geoconservação do litoral piauiense – o menor do país em extensão – mas que exibe feições como formações e afloramentos rochosos, praias, planícies, campos de dunas, delta, estuário, rios, riachos e lagoas, constituindo-se num espaço propício para o desenvolvimento da Geoconservação.

Os segundo e terceiro artigos exibem a descrição dos principais geossítios da região de Castelo do Piauí, como o mini Cânion do Buritizinho, Pico dos Andrés, Pedra do Castelo e diversas cachoeiras, os quais são a porta de entrada para o imponente Cânion do rio Poti, descrito no artigo seguinte. Esta feição estende-se através de 180 km com paredões atingindo 60 m de altura em alguns trechos, cortando o sistema de serras da Ibiapaba e formando o cânion, resultado do forte controle estrutural do rio Poti sob a influência dos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês.

O Lineamento Transbrasiliano (LT) também está presente nos três artigos seguintes, dedicados à mineralogia e gemologia. Ao ser reativado por forças tectônicas, o LT atua como conduto para o magmatismo básico encontrado em toda a Bacia Sedimentar do Parnaíba. Este magma ao alojar-se abaixo de arenitos, aquece a água

contida nos seus interstícios, desenvolvendo a anomalia térmica que caracteriza o ambiente hidrotermal responsável pela gênese das opalas, quartzos e calcedônias.

As raras opalas ocorrem em duas dezenas de municípios piauienses, com destaque para aquelas encontradas em Pedro II, nas variedades *light opal*, *boulder*, *boulder* matriz, negra (rara) e as opalas compostas (dublets e triplets) exibindo belos padrões de jogo de cores. Em Buriti dos Montes destaca-se a ocorrência da opala laranja (opala de fogo ou *jelly*) com matizes de cores desde o amarelo-claro água ao vermelho-amarronzado.

Nos 13 artigos seguintes, ocorrem as descrições da sedimentologia e paleontologia, desde o Siluriano (443 milhões de anos) registrado na unidade basal da Bacia Sedimentar do Parnaíba, o Grupo Serra Grande, até os sedimentos do período Cretáceo (100 milhões de anos) da Bacia Sedimentar do Araripe, os quais fornecem dados para a reconstituição paleoambiental, um resgate da história geológica piauiense.

As evidências de antigas glaciações são de uma época em que a Bacia Sedimentar do Parnaíba estava confinada ao polo sul da Terra, no extinto continente Gondwana. Pelo menos duas glaciações, ocorridas em 440 a 430 milhões de anos (Siluriano) e 425 a 360 milhões de anos (Devoniano) são respectivamente descritas nos depósitos da Formação Ipu, em afloramentos de rochas em cortes de estradas na região de Ipueiras, Estado do Ceará e; da Formação Cabeças, estes expostos próximo a Oeiras, Estado do Piauí.

As mais espetaculares evidências da glaciação Devoniana encontradas no território brasileiro, estão localizadas no povoado Calembre, zona rural do município de Brejo do Piauí. O pavimento de estrias glaciais de Calembre é apresentado sob os aspectos de sua caracterização, relevância científica e principais desafios para a sua preservação, sendo um dos seis geossítios do território piauiense cadastrados no Projeto do Mapa do Patrimônio Geológico da América do Sul, executado pelo SGB/CPRM em parceria com a UNESCO - *WORLD HERITAGE COMMITTEE (WHC)*.

O artigo “Zircão, o Guardião do Tempo: Datação U-Pb Aplicada à Proveniência Sedimentar - Revisão Metodológica e Utilidade no Projeto BIOCRONORTE”, apresenta o método de datação geocronológica U-Pb em zircão detritico, usado para reconstrução de ambientes sedimentares do passado, focado em processos sedimentológicos das unidades do final do Carbonífero (Formações Poti e Piauí) e Permiano (Formação Pedra de Fogo) - no intervalo de 323 a 237 milhões de anos - os quais possivelmente marcam a

transição final de um contexto marinho para um contexto continental, dentro da história sedimentar da Bacia Sedimentar do Parnaíba.

A Expedição BIOCRONORTE à Bacia do Parnaíba: Decifrando a Vida Antiga e o Registro Histórico do Planeta Terra, é apresentada num artigo com as principais motivações, etapas e resultados desta Expedição envolvendo o setor produtivo e universidades públicas do país e do exterior. Os métodos empregados incluem análises sobre sedimentologia e estratigrafia, construção de perfis estratigráficos, amostragem para análise de microfósseis, proveniência sedimentar e para datação absoluta por Re-Os, aplicados em rochas da Bacia Sedimentar do Parnaíba de idades entre aproximadamente 346 e 145 milhões de anos atrás.

No artigo “Os Fósseis Além da Paleontologia – Uma Questão Jurídica” os autores apresentam uma discussão sobre a evolução histórica do amparo jurídico do patrimônio paleontológico brasileiro. E a necessidade da criação de dispositivos legais que garantam a custódia, combatam o tráfico e expressem punições e sanções para quem dilapidar o patrimônio paleontológico nacional. Uma discussão atual!

Um conjunto de seis artigos abordam o estado da arte sobre o conhecimento do período Carbonífero (Formação Piauí) ao Permiano (Formação Pedra de Fogo), compreendendo respectivamente entre 315,2 a 266,9 milhões de anos atrás.

Iniciando este conjunto de artigos, tem-se: “O sertão já foi mar: registro do mar Carbonífero Itaituba-Piauí (MIP) em rochas da região de José de Freitas, norte do Estado do Piauí”, apresentando um grande evento transgressivo-regressivo responsável pela deposição dos carbonatos fossilíferos do Membro Superior da Formação Piauí. Tais rochas, amplamente conhecidas como “Calcário Mocambo”, são encontradas nas proximidades de José de Freitas-PI, apresentando registro único do Mar Itaituba-Piauí na Bacia Sedimentar do Parnaíba, com depósito de mar raso. Este geossítio encontra-se cadastrado no Projeto do Mapa do Patrimônio Geológico da América do Sul, executado pelo Serviço Geológico Brasileiro , SGB/CPRM em parceria com a UNESCO.

A “Ocorrência de Conodontes e Foraminíferos Bentônicos no Bashkiriano da Formação Piauí, Grupo Balsas, Bacia do Parnaíba” proporcionou o refinamento e correlação de idade das sequências sedimentares e importantes informações auxiliando na reconstrução de como era o cenário paleoecológico e paleoambiental, além de possibilitar o refinamento bioestratigráfico, utilizando fósseis guias.

No artigo “Os Microfósseis e a História da Bacia do Parnaíba Durante o Pennsilvaniano e o Permiano: Idades e Ambientes Sedimentares Revelados Pelos Palinomorfos”, os autores apresentam uma revisão sobre a palinologia do Grupo Balsas, abordando o significado bioestratigráfico, paleoecológico e paleoambiental, bem como as implicações cronoestratigráficas para a Formação Piauí e Pedra de Fogo.

Na sequência, o “Registro Fóssil de Invertebrados da Sequência Permo-Carbonífero da Bacia do Parnaíba” destaca o uso de invertebrados fossilizados com enfoque na formação Poti e Piauí (Carbonífero) e formação Pedra de Fogo (Permiano) da Bacia do Parnaíba para a caracterização dos ambientes terrestre e marinho.

“A Origem das “Pedras de Fogo” no Estado do Piauí”, é abordada num artigo sobre a Formação Pedra de Fogo, considerada um dos mais importantes registros sedimentares do início do Permiano (298 a 273 milhões de anos atrás). Não por acaso possui este nome pois é caracterizada pelas suas “pedras duras que produzem fogo” quando em intenso atrito uma contra a outra. Os autores levam os leitores a um passeio pelo Piauí de quase 300 milhões de anos atrás, vivenciando o paleoclima e a paleogeografia através de uma paisagem formada por um conjunto de lagos rasos com planícies salinas, esporadicamente alimentados por pequenas drenagens intermitentes que se mantinham frequentemente secas, e eram bordejados por borques formados por frondosas samambaias e gimnorpermas de pequeno a grande porte, onde proliferava variadas espécies de animais, tanto terrestres quanto aquáticas.

O artigo seguinte é a “Descrição de Microbialitos *Ex Situ* da Formação Pedra de Fogo (Permiano, Bacia do Parnaíba) no Município de Teresina, Piauí”. Os microbialitos são a evidência mais antiga de vida na Terra. Os autores descrevem e classificam os microbialitos da Formação Pedra de Fogo encontrados nas margens do rio Poti, na zona Sul do município de Teresina, Piauí. Estes micro-organismos viveram nas águas rasas dos lagos salinos que aqui existiam, onde cresceram influenciados pelos ciclos de cheia e seca comuns no Permiano.

Do Permiano para o Jurássico Superior (163 a 145 milhões de anos atrás), agora com o artigo “Descrição de um Novo Espécime de *Quasimodichthys Piauhyensis*, Formação Pastos Bons (Jurássico Superior), Bacia do Parnaíba, Piauí, Brasil”. No município de Floriano, Piauí, são encontrados sedimentos depositados em ambientes lacustres com alta salinidade, clima semiárido a árido, num sistema desértico com dunas eólicas. Das rochas sedimentares que registram antigos lagos, os autores descrevem uma

nova espécie fóssil do peixe *Quasimodichthys piauhyensis*. Ampliam assim, os registros dessa espécie que viveu nos lagos piauienses durante o Jurássico Superior.

Saindo da Bacia Sedimentar do Parnaíba, agora estamos na Bacia Sedimentar do Araripe, em Simões, Piauí. A Formação Romualdo desta bacia sedimentar é caracterizada por abrigar um riquíssimo registro paleontológico da transgressão marinha que chegou até o interior do nordeste brasileiro, durante o Cretáceo Inferior (115 a 110 milhões de anos atrás). O artigo “Um Ovo Fóssil no Piauí” contém a descrição do primeiro ovo amniótico procedente dessa unidade geológica, atribuído a um crocodilo. Ainda mais excepcional foi a identificação de estruturas básicas de um embrião no interior desse ovo, vistos sob um microscópio eletrônico de varredura.

Finalizando esta rica edição da revista da Academia de Ciências do Piauí, dedicada à Geodiversidade Piauiense, o artigo “Geologia da Bacia do Rio Guaribas”, que tem a totalidade de sua área contida na maior sub-bacia hidrográfica integrante da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, a sub-bacia do rio Canindé. Um exemplo da geodiversidade piauiense: litologias de idades desde o Mesoproterozóico até o Cretáceo Inferior distribuídas no embasamento cristalino e na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Rochas metamórficas (gnaisses, xistos, quartzitos, migmatitos), ígneas (granitos, granodioritos, dioritos, pegmatitos, granitos migmatizados e diabásios) e sedimentares (conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos). Estas rochas definem formas diversificadas do relevo como planaltos, depressões e maciços residuais onde se desenvolveram Neossolos, Argissolos e Latossolo com fisionomias do bioma Caatinga, com alguns encraves de Cerrado.

Os artigos que integram esta edição foram escritos por pesquisadores das seguintes instituições: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, IFPI, Campus Teresina Central; Petróleo Brasileiro S.A., PETROBRAS; Serviço Geológico do Brasil, SGB/ CPRM; Universidade de São Paulo, USP; Universidade Estadual do Piauí, UESPI, Campus Professor Barros Araújo; Universidade Estadual do Piauí, UESPI, Campus Torquato Neto; Universidade Estadual Vale do Acaraú, UVA, Campus Betânia; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus Rio Claro; Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG; Universidade Federal de Pernambuco, UFPE; Universidade Federal do Ceará, UFC; Universidade Federal do Pará, UFPA; Universidade Federal do Piauí, UFPI, Campus Petrônio Portela; Universidade Federal do

Piauí, UFPI, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros; Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ; Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.

Um agradecimento especial a todos os autores! Não mediram esforços para atender o convite do dossiê CONHECENDO A GEODIVERSIDADE PIAUIENSE. Viram a possibilidade de divulgar para os nativos, um pouco do conhecimento sobre nosso Estado. Esta edição quiçá possa servir de material de apoio para professores e alunos da educação básica, estimulando a curiosidade, novas pesquisas e a preservação da rica Geodiversidade Piauiense.

Boa leitura!

ORGANIZADORES:

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes – IFPI e membro da Academia de Ciências do Piauí.

Prof. Dr. Afonso Cesar Rodrigues Nogueira - UFPA

Prof. Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo - UFC

Prof. Dr. Juan Carlos Cisneros - UFPI



**ABORDAGEM SOBRE OS CONCEITOS DE GEODIVERSIDADE,
GEOCONSERVAÇÃO E GEOPATRIMÔNIO**

**APPROACH ON THE CONCEPTS OF GEODIVERSITY, GEOCONSERVATION
AND GEOHERITAGE**

**ENFOQUE SOBRE LOS CONCEPTOS DE GEODIVERSIDAD,
GEOCONSERVACIÓN Y GEOPATRIMONIO**

Emerson Alves de Carvalho¹, Cláudia Maria Saboia de Aquino²

¹ Graduando do Curso de Licenciatura em Geografia da UFPI, email: mailto:emersoncarvalho.ti@gmail.com

² Doutora em Geografia, Docente do Curso de Licenciatura em Geografia da UFPI, email: cmsaboa@gmail.com

Resumo: A Geodiversidade surge logo nos anos iniciais da década de 1990, repercutindo em conferências científicas e ganhando espaço no âmbito acadêmico. Apesar de se tratar de um termo ainda jovem, a geodiversidade ao longo do tempo foi se consolidando e ganhando diversas conceituações que, resumidamente, fluem para diversidade de elementos abióticos que constituem determinada área. Outrossim a temática integrou outros termos, como geoconservação, geossítio e geopatrimônio, que juntos à geodiversidade têm sido cada vez mais empregados nos estudos da Geografia e, principalmente, das Geociências. A preocupação em conhecer minuciosamente o território, seus elementos físicos, aregar valores, utilizá-los e propor medidas de conservação tem contribuído com a difusão da geodiversidade para além do seu berço de origem. Este artigo tem como objetivo ensejar a conceituação dos termos que englobam a geodiversidade e relacioná-los de acordo com a revisão bibliográfica. A metodologia adotada para a elaboração do trabalho consistiu na revisão bibliográfica pertinente ao tema através de trabalhos científicos publicados. Compreende-se que a Terra é o grande sustentáculo para que os milhares de organismos consigam viver e, devido a isto é necessário que haja uma maior atenção e promoção da geodiversidade para que a geoconservação possa acontecer.

Palavras-Chaves: Geodiversidade. Geopatrimônio. Geoconservação.

Abstract: Geodiversity emerged in the early 1990s, reverberating in scientific conferences and gaining ground in the academic sphere. Despite being a still young term, geodiversity has been consolidated over time and has gained several concepts that, in short, flow to the diversity of abiotic elements that constitute a certain area. Furthermore, the theme integrated other terms, such as geoconservation, geosite and geoheritage, which, together with geodiversity, have been increasingly used in the studies of Geography and, mainly, of Geosciences. The concern with thoroughly understanding the territory, its physical elements, adding values, using them and proposing conservation measures has contributed to the spread of geodiversity beyond its cradle of origin. This article aims to give rise to the conceptualization of terms that encompass geodiversity and relate them according to the literature review. The methodology adopted for the elaboration of the work consisted of a literature review relevant to the topic through published scientific works. It is understood that the Earth is the great support for thousands of organisms to live and, due to this, there needs to be greater attention and promotion of Geodiversity so that geoconservation can happen.

Keywords: Geodiversity. Geoheritage. Geoconservation.

Resumen: La geodiversidad surgió a principios de la década de 1990, repercutiendo en congresos científicos y ganando terreno en el ámbito académico. A pesar de ser un término aún joven, la geodiversidad se ha ido consolidando a lo largo del tiempo y ha ganado varios conceptos que, en definitiva, fluyen a la diversidad de elementos abióticos que constituyen una determinada área. Además, el tema integró otros términos, como geoconservación, geositio y geopatrimonio, que, junto con geodiversidad, se han utilizado cada vez más en los estudios de Geografía y, principalmente, de Geociencias. La preocupación por conocer a fondo el territorio, sus elementos físicos, sumar valores, utilizarlos y proponer medidas de conservación ha contribuido a la difusión de la geodiversidad más allá de su cuna de origen. Este artículo tiene como objetivo dar lugar a la conceptualización de términos que engloban la geodiversidad y los relacionan de acuerdo con la revisión de la literatura. La metodología adoptada para la elaboración del trabajo consistió en una revisión de la literatura relevante al tema a través de trabajos científicos publicados. Se entiende que la Tierra es el gran soporte para

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.08 – 17 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748.

que viven miles de organismos y, por ello, es necesario que haya una mayor atención y promoción de la geodiversidad para que la geoconservación pueda suceder.

Palabras clave: Geodiversidad. Geopatrimonio. Geoconservación.

INTRODUÇÃO

A partir do século XX uma nova terminologia denominada de Geodiversidade passou a ser estudada e difundida pelo globo, preponderando a variedade de elementos abióticos, ou seja, aspectos não vivos do meio ambiente. Vale ressaltar que, em virtude de seus primeiros aparecimentos datarem a década de 1990, trata-se de um termo ainda jovem, mas com inúmeras conceituações que partiram inicialmente de dois importantes polos do conhecimento, Europa e Oceania, contando com estudos que se tornaram referência para a discussão e a divulgação da temática.

A Geodiversidade surge em contrapartida à biodiversidade, com o intuito de revelar que assim como há a variedade de seres vivos na natureza também há a diversidade de elementos não vivos no meio ambiente. Outrossim a temática foi ganhando notoriedade nas últimas décadas por meio dos estudos geoconservacionistas (BRILHA, 2005; GUERRA, JORGE, 2016).

Com o passar do tempo as bases conceituais da geodiversidade foram se expandindo e englobando discussões importantes, como valores da geodiversidade, geoconservação, geossítio, patrimônio geomorfológico e dentre outros. Diante da eminência dessa temática, o presente artigo propõe-se a ensejar a conceituação dos termos que englobam a geodiversidade e relacioná-los de acordo com a revisão bibliográfica.

Desta forma, a metodologia utilizada para desenvolver este trabalho consistiu na revisão bibliográfica concernente ao tema por meio de levantamento literário e fichamento de trabalhos acadêmicos, como livros, monografias, dissertações, teses e artigos publicados em revistas eletrônicas.

CONCEITUANDO GEODIVERSIDADE

A princípio a Terra consiste em um complexo sistema vivo graças a um mecanismo integrado e natural no qual todas as peças possuem seus papéis no sistema, isto é movimentando, modificando, agregando e provendo suporte aos diversos organismos presentes no planeta. A sua “vida” é expressa mediante aos movimentos térmicos internos,

ABORDAGEM SOBRE OS CONCEITOS DE GEODIVERSIDADE, GEOCONSERVAÇÃO E GEOPATRIMÔNIO

mecanismos coordenados pela energia térmica oriunda das camadas internas do planeta, gerando correntes de convecção que permitem o deslocamento dos continentes; e externos, protagonizados pela energia solar na atmosfera, viabilizando o clima, o tempo e as intempéries que modelam a paisagem (PRESS et al., 2006).

Tendo em vista esse complexo sistema e sua importância à vida na Terra, a superfície terrestre tem ganhado relevância, especialmente científica, desproporcional aos dos seres que habitam o substrato, tanto que o conceito e o termo biodiversidade precedem os relacionados à geodiversidade.

A geodiversidade teve sua primeira aparição como termo em 1993, na Conferência de Malvern sobre “Conservação Geológica e Paisagística”, sediada no Reino Unido, e posteriormente o termo reaparece no âmbito científico com Wiedenbein (1994) e seus estudos sobre à conservação de geotopos nos países de língua alemã (WIEDENBEIN, 1994 apud GRAY, 2004).

Todavia discussões referentes ao vocábulo já haviam sido empregadas pelo geógrafo argentino Frederico Alberto Daus, ainda na década de 1940, atribuindo a geodiversidade como forma de distinguir as áreas da superfície terrestre, no campo da Geografia Cultural (DAUS, 1940? apud SSERRANO CAÑADAS; RUIZ FLAÑO, 2007).

A partir dessas primeiras aparições supracitadas, apreende-se que na década de 1940, em território sul-americano, a geodiversidade consistia essencialmente na diversidade natural e cultural, concatenando a variedade geográfica e os valores regionais à geodiversidade. Já posteriormente, na década de 1990, no continente europeu, a geodiversidade passa a consistir na conservação das áreas naturais, como os geotopos. De acordo com esta dualidade, infere-se que com o tempo o termo foi ganhando outras percepções e novas aplicações, englobando a Geografia Física e a Geografia Humana, não se restringindo a apenas uma das vertentes.

Após a Conferência de Malvern e os estudos de Wiedenbein, o termo começa a ganhar a ganhar relevância no meio acadêmico. Ainda em 1997, Eberhard estabelece Geodiversidade como sendo a extensão natural da diversidade geológica, geomorfológica e as características pedológicas, composição, evidências para a história do planeta e a gama de processos atualmente atuantes sobre as rochas, relevos e solos (EBERHARD, 1997). Dessa forma novas percepções são incorporadas à Geodiversidade e, após a conceituação do autor, consideram os indícios dos ecossistemas e ambientes que existiram no planeta.

Para Michael Stanley (2001 apud Gray 2004, p. 7), geodiversidade refere-se ao “[...] elo entre pessoas, paisagens e cultura; é a variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos que tornam essas paisagens, rochas, minerais, fósseis e solos que fornecem estrutura para a vida na Terra”. Esta definição valida que a biodiversidade não está dissociada da geodiversidade, pois reconhece os processos atuantes sobre os elementos abióticos, sejam eles físicos, biológicos ou antropológicos. Outrossim o autor salienta a conexão com homem e com a cultura em sua definição.

Um pouco adiante, em 2004, a abordagem de Murray Gray teve grande relevância na comunidade científica, na qual o autor agrega em seu conceito os sistemas e evidencia as interações dinâmicas entre os elementos físicos:

“[...] a extensão natural (diversidade) de componentes geológicos (rochas, minerais, fósseis), de características geomorfológicas (relevos, processos físicos) e dos solos, incluindo suas constituições, relações, propriedades, interpretações e sistemas” (GRAY, 2004, p. 8).

Consolidando um dos principais cernes da temática, Europa, Brilha (2005, p. 18) preocupa-se em focar particularmente nos elementos abióticos do meio ambiente, revelando que:

[...] a geodiversidade compreende apenas aspectos não vivos do nosso planeta. E não apenas os testemunhos provenientes de um passado geológico (minerais, rochas, fósseis) mas também os processos naturais que atualmente decorrem dando origem a novos testemunhos.

O cenário internacional sobre geodiversidade concentra-se, principalmente, em dois eixos de referências, Europa e Oceania, abrangendo uma variedade de conceituações e, mais importante, com prosseguimento acadêmico. Ao centrar no cenário nacional, Silva (2008) revela que a busca em definir geodiversidade avança de forma simultânea ao exterior, apresentando caráter pautada na geoconservação, recursos naturais e, para planejamento territorial.

Veiga (1999), um dos percussores da temática no Brasil, evidencia geodiversidade como a variedade das características do meio-físico de uma região geográfica, acentuando os elementos não vivos constituintes, como as, rochas, os corpos hídricos, o relevo e dentre outros elementos, promovendo as formas paisagísticas e a variedade biológica e cultural.

De tal forma o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2006), designa geodiversidade como:

ABORDAGEM SOBRE OS CONCEITOS DE GEODIVERSIDADE, GEOCONSERVAÇÃO E GEOPATRIMÔNIO

O estudo da Natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que proporcionam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o educativo e o turístico

Os estudos de Azevedo (2007, p. 12) no estado de Minas Gerais revelam que a geodiversidade refere-se “[...] à variação litológica das rochas, à disposição destas em afloramentos representando a sucessão de paleoambientes, à diversidade dos solos e a todos os processos geológicos que modelam a crosta terrestre”.

Apreende-se que o processo de construção de uma conceituação para Geodiversidade não ocorreu de forma singular, onde um ou mais autores entram em consenso e validam uma única conceituação, mas sim de forma plural na qual autores publicam suas conceituações objetivando enriquecer e expandir a temática a partir de uma percepção ainda não abordada. Assim mais terminologias foram sendo integradas à temática, o que por sua vez ajudaram a consolidar e a difundir a Geodiversidade.

GEOCONSERVAÇÃO E GEOPATRIMÔNIO

A Terra é constituída por extensões continentais divididas por regiões das quais contam com uma miscelânea de feições que detém uma extensão de elementos abióticos, da qual aponta a geodiversidade existente neste local. Esta afirmação serve de base para a discussão sobre conservação dos aspectos não vivos do meio ambiente e, para tanto, Eberhard (1997, p.5) apresenta geoconservação como “[...] a identificação e a conservação dos aspectos geológicos, geomorfológicos e, características do solo, composição, sistemas e processos (geodiversidade) por seus valores essenciais, ecológicos ou patrimoniais”.

Sharples (2002), aborda a temática da seguinte maneira:

A Geoconservação tem como princípio a preservação da diversidade natural – ou geodiversidade – de significativos aspectos e processos geológicos (substrato), geomorfológicos (relevo) e de solo, mantendo a evolução natural (velocidade e intensidade) desses aspectos e processos (SHARPLES, 2002, p.2).

A conceituação de cada um dos dois autores acima citados possui leve convergência, onde a de Sharples (2002) se mostra mais completa devido a condicionante tempo. A

geoconservação pós Sharples (2002) aborda o processo evolutivo com a intenção de facilitar a compreensão do arranjo da diversidade natural e como preservá-la.

Entretanto as contribuições do autor não se limitam apenas à condicionante tempo, Sharples (2002) acrescenta a geoconservação é essencial para que, de fato, a bioconservação se concretize, visto que a geodiversidade propicia ambientes e pressões ambientais que permitem a existência da biodiversidade.

Dando ênfase à conceituação de geoconservação empregada pelos portugueses, apreende-se que esta é intrinsecamente centrada na diversidade abiótica do ambiente. Brilha (2005, p.53) destaca-se ao atribuir que a “geoconservação tem como objetivo a conservação e gestão do Patrimônio Geológico e processos naturais a ele associados”.

Para Pereira et al. (2016) a geoconservação precisa passar para além dos muros das instituições acadêmicas e ser vista e utilizada tanto como ferramenta de gestão territorial quanto de políticas públicas, assim enfatizando sua inclusão na legislação ambiental das nações, dado que a criação de diretrizes que assistam à geoconservação

(...) poderá trazer mudanças significativas no modelo de gestão e planejamento do território. Neste contexto, recomendamos que a moção de Barcelona sobre a “Conservação do Patrimônio Geológico e da Geodiversidade” seja integrada na legislação de todos os países, por forma a promover o uso responsável e sustentável dos seus recursos naturais. (PEREIRA et al., 2016, p. 116)

Quanto aos elementos não vivos do ambiente natural, tem-se os geossítios. Estes podem ser ilustrados como afloramento de rocha, minerais e fósseis e etc., assim, Brilha (2005) estabelece geossítio como:

Ocorrência de um ou mais elementos da geodiversidade (aflorantes quer em resultado da ação de processos naturais quer devido à intervenção humana), bem delimitado geograficamente e que apresente valor singular do ponto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico ou outro (BRILHA, 2005, p. 52).

Desta forma a compreensão de geossítio consiste em áreas com elementos abióticos visíveis que são assimilados pelo homem e concedido valores ao seu uso, podendo ser valores educacionais, científicos, turísticos, e dentre outros.

ABORDAGEM SOBRE OS CONCEITOS DE GEODIVERSIDADE, GEOCONSERVAÇÃO E GEOPATRIMÔNIO

A existência de geossítios providos de aspectos de geodiversidade constituem o Geopatrimônio. Para Gray (2004) esses aspectos da geodiversidade possuem alta projeção significativa e são propícios à conservação em virtude dos valores atribuídos aos mesmos.

Seguindo esta linha de pensamento, Eberhard (1997, p.5) define geopatrimônio como “os componentes da geodiversidade que são importantes para os humanos, para outros fins exceto a exploração de recursos; coisas que gostaríamos de reter para o presente e as gerações futuras”. Tal definição zela pelo significado de patrimônio, algo que se é herdado e que apresenta algum valor, traçando-o a risca a fim de que a próxima geração tenha conhecimento sobre o geopatrimônio e os valores que estão atrelados aos aspectos da geodiversidade.

Gray (2004) ressalva que, tendo em vista os elementos valorosos da geodiversidade, a geoconservação objetiva inviabilizar o desaparecimento do patrimônio geológico à medida que a restauração geológica e a pesquisa de campo devem consolidá-lo. De acordo com esta concepção, assimila-se que patrimônio é atribuído de acordo com os elementos da geodiversidade, a exemplo de geológicos e geomorfológicos, ou seja, acrescenta-se suas especificações ao termo, como patrimônio geológico e patrimônio geomorfológico.

Pereira (2006, p. 34) revela que “patrimônio geológico é constituído pelos locais e objetos geológicos que, pelo seu conteúdo devem ser valorizados e preservados, sendo documentos que testemunham a história da Terra”. A partir desta conceituação compreende-se que o autor atribui os objetos geológicos não somente como parte da geodiversidade local, mas também denota como importantes para assimilar a os registros pretéritos, desta forma, conciliando com a conceituação de Sharples (2002) para geoconservação.

Ao conceituar patrimônio geomorfológico Pereira (2006, p.333) descreve como sendo “o conjunto de elementos geomorfológicos (geoformas, depósitos, processos) a várias escalas, que adquirem um ou mais tipos de valor através da sua avaliação científica, os quais devem ser protegidos e valorizados”.

VALORES DA GEODIVERSIDADE

A proteção ou conservação de uma determinada área, elemento abiótico ou patrimônio é fundamentada em razão da outorga de valores, podendo ser educativo, econômico ou dentre outros valores. Para tanto, Gray (2004) e Brilha (2005) apresentam sete valores: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e educacional. O valor

intrínseco, de acordo com Gray (2004), refere-se à crença ética dos elementos da geodiversidade que são imensuráveis apenas pelo que são, e não por algum valor utilitário que possa ser atribuído aos mesmos.

O valor cultural, diferentemente do anteriormente abordado, diz respeito ao elo entre a sociedade e o ambiente, fundamentando-se no significado social e comunitário (BRILHA, 2005; GRAY, 2004). Pereira (2006, p. 70) segue a mesma concepção revelando que “o valor cultural baseia-se nas relações estabelecidas entre as atividades humanas e as geoformas, quer como causa quer como consequência”. Em contraponto, o valor estético torna-se tangenciável graças ao apelo visual, e dos demais sentidos, proporcionado pelo ambiente físico nas suas diversas representações e escalas (BRILHA 2005; GRAY, 2004).

Por um lado, a cessão de um valor econômico é justificada pela necessidade de quantificar um valor financeiro à um aspecto ou recurso da diversidade natural do ambiente (BRILHA 2005; GRAY, 2004). Por outro lado, Pereira (2006, p.72) evidencia o valor econômico ao “[...] potencial para diversas atividades turísticas e desportivas”. Este valor é o mais objetivo e compreensível, dado que o homem extrai e utiliza minerais e rochas, estimando cifras e movimentando a economia local e global.

O valor funcional parte do princípio da função operante que os componentes não vivos possuem nos sistemas ambientais, físico ou biológico (BRILHA, 2005; GRAY, 2004). Brilha (2005) ressalva que este valor possui duas perspectivas: “[...] *in situ*, de caráter utilitário ao homem; o valor da geodiversidade enquanto substrato dos sistemas físicos e ecológicos na superfície terrestre” (BRILHA, 2005, p38-39).

O valor científico e educativo é compreendido pela importância que o ambiente físico apresenta ao portar em sua natureza objetos e elementos a serem pesquisados, ou seja, os geossítios. Brilha (2005) e Gray (2004) revelam que a investigação científica por meio dos destes aspectos da geodiversidade ajuda a reconstituir a história da Terra. Já o valor educativo compete ao poder didático próprio da geodiversidade, possibilitando utilizar os elementos abióticos no processo didático (GRAY, 2004; BRILHA 2005).

Os valores da geodiversidade consistem em identificar e analisar valores que possam ser atrelados aos aspectos não vivos como forma de ter conhecimento sobre a geodiversidade local, entender a função que estes aspectos desempenham no ambiente para que assim possa mensurar o manejo pelo homem.

CONCLUSÃO

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.08 – 17 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748.

ABORDAGEM SOBRE OS CONCEITOS DE GEODIVERSIDADE, GEOCONSERVAÇÃO E GEOPATRIMÔNIO

Diante do exposto nesta pesquisa, apreende-se que Geodiversidade ainda é considerada jovem no âmbito científico, porém com um arcabouço diverso e consolidado, apresentando pesquisas e medidas de suma importância para a compreensão da temática, análise, conservação e manejo dos aspectos abióticos. Ademais o conhecimento sobre geodiversidade nos faz compreender melhor o meio ambiente, suas composições, fragilidades e valores.

É indubitável que a biodiversidade seja de suma importância à conservação da natureza, porém apenas com a mesma não é possível alcançar a conservação da natureza. Deste modo, conclui-se que ainda há uma dissociação dos aspectos referentes à geodiversidade na qual acarreta em uma compreensão simplória e limitada de conservação, visto que os aspectos geoambientais assistem à biodiversidade.

Nessa pesquisa optou-se por debater os autores percussores da temática aqui explanada, bem como autores nacionais que ajudaram a difundir a geodiversidade no território brasileiro. Por fim, e não menos importante, espera-se que este artigo de cunho teórico sirva de subsídio para as futuras pesquisas sobre Geodiversidade, bem como promova a visibilidade da referida temática de uma forma descomplicada e didática.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, U. R. **Patrimônio geológico e geoconservação no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais:** potencial para a criação de um geoparque da Unesco. Belo Horizonte, 2007. 211f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BRILHA, J. B. R. **Patrimônio geológico e geoconservação:** a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Editora Palimage, 2005. 190 p.

EBERHARD, R. (Ed.). Pattern and process: towards a regional approach to national estate assessment of geodiversity. **Technical Series**, n. 2. Australian Heritage Commission; Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra, 1997.

GRAY, M. **Geodiversity:** valuing and conserving abiotic nature. New York: John Wiley & Son, 2004, 434 p.

JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Geodiversidade, geoturismo e geoconservação: conceitos, teorias e métodos. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 6, n.1, p. 151-174, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/5241>. Acesso em: 28 de out. 2021.

PEREIRA, J. M. V.; VICTÓRIA, S. M. D. M. S.; OLIVEIRA, V. P. V. de; ZANELLA, M. E.; ROCHA, H. S. Importância da geoconservação na gestão ambiental e ordenamento territorial.

Revista de Educação Ambiental, Rio Grande, v. 21, n. 2, p. 108-119, 2016. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/6446>. Acesso em: 28 out. 2021.

PEREIRA, P. J. S. Patrimônio geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação – aplicação ao Parque Nacional de Montesinho. Braga, 2006. 395f. Tese (Doutorado em Ciências – Geologia) – Universidade do Minho, Braga, 2006.

PRESS, F; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4. ed. Tradução de MENEGAT, R. (coord.). Porto Alegre: Artmed, 2006, 656 p.

SERRANO CANADAS, E.; RUIZ FLANO, P. Geodiversidad: concepto, evaluacion y aplicacion territorial: el caso de Figura 1.6 - Area em processo de desertificacao (Gilbues, PI). Tiermes- Caracena (Soria). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, La Rioja, n. 45, p. 79-98, 2007.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Tasmania: Tasmanian Parks & Wildlife, 2002, 79 p.

SILVA, C.R. da. (ed.) **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

VEIGA, A. T. C. A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. **Terra das Águas**, Brasília: NEAz/UnB, n. 1, p. 88-102, 1999.

ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

Elements of geodiversity for Piauí coast geoconservation

Elementos de la geodiversidad para la geoconservación de la costa de Piauí

Brenda Rafaela Viana da Silva¹, Elisabeth Mary de Carvalho Baptista², Liége de Souza Moura³

¹Mestre em Geografia (UFPI); Professora do Curso de Geografia da UVA; E-mail: rafaela.geo.grafia@gmail.com

²Doutora em Geografia (UFSC); Professora Adjunta do Curso de Geografia da UESPI; E-mail: elisabethmary@cchl.uespi.br

³Doutora em Geografia (UFPE); Professora Adjunta do Curso de Geografia da UESPI; E-mail: liegesouza@cchl.uespi.br

Resumo: Os elementos abióticos da natureza nos aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e suas inter-relações constituem a geodiversidade, cuja exploração humana suscitou o desenvolvimento da Geoconservação, com o intuito de promover sua valorização e consequente conservação. Entretanto, para que a Geoconservação se concretize, a identificação e caracterização da geodiversidade do lugar é o ponto de partida. Este trabalho tem como objetivo apresentar os elementos da geodiversidade do litoral piauiense e suas características, considerando o processo de geoconservação, tendo sido desenvolvido por meio da pesquisa bibliográfica, a partir dos estudos de Baptista (2010), Pfaltzgraff, Torres e Brandão (2010), Silva e Baptista (2014), Silva, Baptista e Moura (2014, 2015), Baptista, Moura e Silva (2016), Lopes (2017), Silva, Baptista e Lima (2018), Silva (2019), Baptista, Moura e Silva (2019), Silva, Lima e Baptista (2020) e Baptista e Lima (2020). Assim, a geodiversidade litorânea piauiense está composta de feições como formações e afloramentos rochosos, praias, planícies, campos de dunas, delta, estuário, rios, riachos e lagoas, dentre outras, que se constituem em atributos geodiversos com potencial geoturístico e geoeducativo, e, em face de intensa e expressiva ocupação e exploração deste ambiente e espaço, encontra-se apropriado para o desenvolvimento da Geoconservação como atestam as pesquisas analisadas.

Palavras-chave: Litoral piauiense. Geodiversidade. Geoconservação.

Abstract: The abiotic elements of nature in geological, geomorphological, hydrological aspects and their interrelationships constitute geodiversity, whose human exploration has given rise to the development of Geoconservation, in order to promote its valorization and consequent conservation. However, for Geoconservation to materialize, the identification and characterization of the geodiversity of the place is the starting point. This work aims to present the geodiversity elements of the Piauí coast and its characteristics, considering the geoconservation process, having been developed through bibliographical research, from the studies of Baptista (2010), Pfaltzgraff, Torres and Brandão (2010), Silva and Baptista (2014), Silva, Baptista and Moura (2014, 2015), Baptista, Moura and Silva (2016), Lopes (2017), Silva, Baptista and Lima (2018), Silva (2019), Baptista, Moura and Silva (2019), Silva, Lima and Baptista (2020) and Baptista e Lima (2020). Thus, Piauí's coastal geodiversity is composed of features such as rock formations and outcrops, beaches, plains, dune fields, delta, estuary, rivers, streams, and lakes, among others, which constitute geodiverse attributes with geotouristic and geoeducational potential, and, in the face of intense and expressive occupation and exploration of this environment and space, it is appropriate for the development of Geoconservation, as the analyzed researches attest.

Keywords: Piauí coast. Geodiversity. Geoconservation.

Resumen: Los elementos abióticos de la naturaleza en aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y sus interrelaciones constituyen la geodiversidad, cuya exploración humana ha dado lugar al desarrollo de la Geoconservación, con el fin de promover su valorización y consecuente conservación. Sin embargo, para que

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.18 – 34 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748.

la Geoconservación se materialice, la identificación y caracterización de la geodiversidad del lugar es el punto de partida. Este trabajo tiene como objetivo presentar los elementos de geodiversidad de la costa de Piauí y sus características, considerando el proceso de geoconservación, habiendo sido desarrollado a través de la investigación bibliográfica, a partir de los estudios de Baptista (2010), Pfaltzgraff, Torres y Brandão (2010), Silva y Baptista. (2014), Silva, Baptista y Moura (2014, 2015), Baptista, Moura y Silva (2016), Lopes (2017), Silva, Baptista y Lima (2018), Silva (2019), Baptista, Moura y Silva (2019), Silva, Lima y Baptista (2020) y Baptista y Lima (2020). Así, la geodiversidad costera de Piauí está compuesta por características como formaciones rocosas y afloramientos, playas, llanuras, campos de dunas, delta, estuario, ríos, arroyos y lagos, entre otros, que constituyen atributos geodiversos con potencial geoturístico y geoeducativo, y, dada la intensa y expresiva ocupación y exploración de este entorno y espacio, resulta apropiado para el desarrollo de la Geoconservación, como atestiguan las investigaciones analizadas.

Palabras clave: Costa de Piauí. Geodiversidad. Geoconservación.

Introdução

Segundo Baptista e Lima (2020), os estudos específicos sobre geodiversidade do litoral do Piauí expressam significativamente conhecimento acerca da diversidade das feições físicas que compõem este espaço. As características naturais do litoral piauiense, no que se refere à geologia, geomorfologia, hidrografia, aspectos climatológicos, solos, oceanográficos, dentre outros, constituindo-se em sua Geodiversidade, são essenciais para a aplicação do processo de Geoconservação, podendo ser reunidas como geossítios e geomorfossítios, ou ainda como patrimônio geológico-geomorfológico, como bem descreve Silva (2019) em seu estudo ao indicar os locais com atributos geológicos e geomorfológicos do litoral piauiense.

Neste contexto, os geossítios reúnem as características geológicas, afloramentos e estruturas rochosas que compõem o contexto estrutural da área em foco, sendo os geomorfossítios, aquelas que correspondem as diferentes formas presentes na área, decorrentes da dinâmica natural e seus processos de modelagem do relevo. Outros atributos associados e relacionados compõem a Geodiversidade como os hidrológicos, os pedológicos, os climatológicos e no caso do litoral, os oceanográficos (SILVA; BAPTISTA; MOURA, 2015; BAPTISTA; MOURA; SILVA, 2016; LOPES, 2017).

Indica-se, assim, que o litoral piauiense apresenta uma geodiversidade expressiva caracterizada por paisagens naturais, feições geológicas e geomorfológicas com destaque para praias, campos de dunas, planícies (costeira, fluviais, fluviomarinhas, fluviolacustres e lacustres), estuários, delta, afloramentos e formações rochosas como promontório e recifes (BAPTISTA; SILVA; MOURA, 2014; SILVA; BAPTISTA, 2014).

ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

Assim, constitui objetivo deste estudo apresentar os elementos da geodiversidade do litoral piauiense e suas características, considerando o processo de geoconservação. Neste trabalho fez-se uso de métodos e técnicas realizados em gabinete se configurando em pesquisa bibliográfica, fundamentada a partir dos autores que discutem esse procedimento como Oliveira (2013), Prodanov e Freitas (2013) e Mazucato *et al.* (2018). Empregou-se, notadamente, livros e capítulos de livros, artigos em periódicos, textos acadêmicos, como dissertações de mestrado e teses de doutorado, e, ainda, trabalhos publicados em Anais de Congressos que tratem sobre a questão em tela.

Deste modo, para identificação da geodiversidade do litoral piauiense considerou-se principalmente os trabalhos de Baptista (1981), Baptista (2010), Pfaltzgraff, Torres e Brandão (2010), Silva e Baptista (2014), Silva, Baptista e Moura (2014, 2015), Baptista, Moura e Silva (2016), Lopes (2017), Silva, Baptista e Lima (2018), Silva (2019), Baptista, Moura e Silva (2019), Silva, Lima e Baptista (2020) e Baptista e Lima (2020). Para a concretização da pesquisa, organizou-se as análises e discussões a partir de uma sequência metodológica em etapas, a saber: etapa 1: estudo conceitual, com a identificação, leitura e análise dos textos de fundamentos teóricos acerca da geodiversidade e geoconservação; e etapa 2: identificação e caracterização dos elementos da Geodiversidade do litoral piauiense, a partir dos estudos realizados.

Apontamentos sobre a geodiversidade e a geoconservação

O entendimento dos elementos abióticos da paisagem como geodiversidade, bem como sobre as ações e estratégias para sua conservação, denominada de geoconservação, são decorrentes de estudos a partir da década de 1990 e início dos anos 2000, destacando-se os trabalhos de Sharples (1993, 2002) e Stanley (2000, 2001), com continuidade especialmente através das pesquisas de Gray (2004, 2005) e Brilha (2005), tendo-se intensificado e ampliado significativamente ao longo das primeiras décadas deste século.

Assim, a geodiversidade passou a ser objeto de estudo em diferentes contextos acadêmicos considerando a constatação da ampliação da exploração de seus elementos em praticamente todas as partes do globo, inclusive no Brasil.

Reunindo principalmente os aspectos geológicos e geomorfológicos do ambiente, como tratado inicialmente pelos estudiosos, a geodiversidade amplia sua abrangência considerando também outros elementos abióticos presentes como os hidrológicos e **Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.18 – 34, Janeiro/Junho, 2022.**
ISSN: 2675-9748.

pedológicos, bem como a dinâmica dos processos que integram e relacionam estes elementos, sendo considerado por Gray (2004, p. 8) como: “[...] a variedade natural (diversidade) de características geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (relevo, processos) e do solo [...]” incluindo “[...] seus conjuntos, relações, propriedade, interpretações e sistemas”¹.

Neste sentido, Pereira, Brilha e Pereira (2008, p. 213) entendem como geodiversidade a “variedade de ambientes geológicos, fenómenos e processos activos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra”.

Acrescenta-se a esta perspectiva, a de Nascimento, Ruchkys e Mantesso-Neto (2008, p. 213) ao afirmarem que a geodiversidade “[...] é o elo entre as pessoas, paisagens e sua cultura por meio da interação com a biodiversidade”, distinguindo-se como essencial para o desenvolvimento de ações sustentáveis pela humanidade (FERREIRA; LIMA; CANDEIRA, 2018), e ainda que para ela valores foram identificados a partir de seus atributos próprios às possibilidades de utilização social, conforme Gray (2004, 2005) a saber: intrínseco, cultural, estético, econômico, funcional, científico e educativo.

Inegavelmente importante enquanto sustentação da biodiversidade e fonte de recursos para a sociedade, os cuidados com a geodiversidade suscitaram o surgimento da Geoconservação, com o reconhecimento de Henriques *et al.* (2011, p. 125) “[...] como um novo corpo de conhecimento científico, integrando um grupo disciplinar”², e que seus propósitos especialmente para inventariação e avaliação, não teria como ser atingidos “[...] sem considerar a geoconservação como uma geociências com uma clara e profunda inter-relação social”³ (HENRIQUES *et al.*, 2011, p. 126). Neste sentido, Baptista, Moura e Silva (2016, p. 1251) concordam ao indicar que “[...] a Geoconservação corresponde a um novo paradigma ou corrente de pensamento voltado para o meio natural e sua conservação”.

Para cumprimento da Geoconservação sua organização se dá através de etapas, definidas por Brilha (2005) como sendo: Inventariação, Quantificação, Classificação, Conservação, Valorização e Divulgação e Monitoração, com a finalidade de conhecimento sobre as características da geodiversidade de determinado ambiente e indicação ao final de

¹ Tradução livre.

² Tradução livre.

³ Tradução livre.

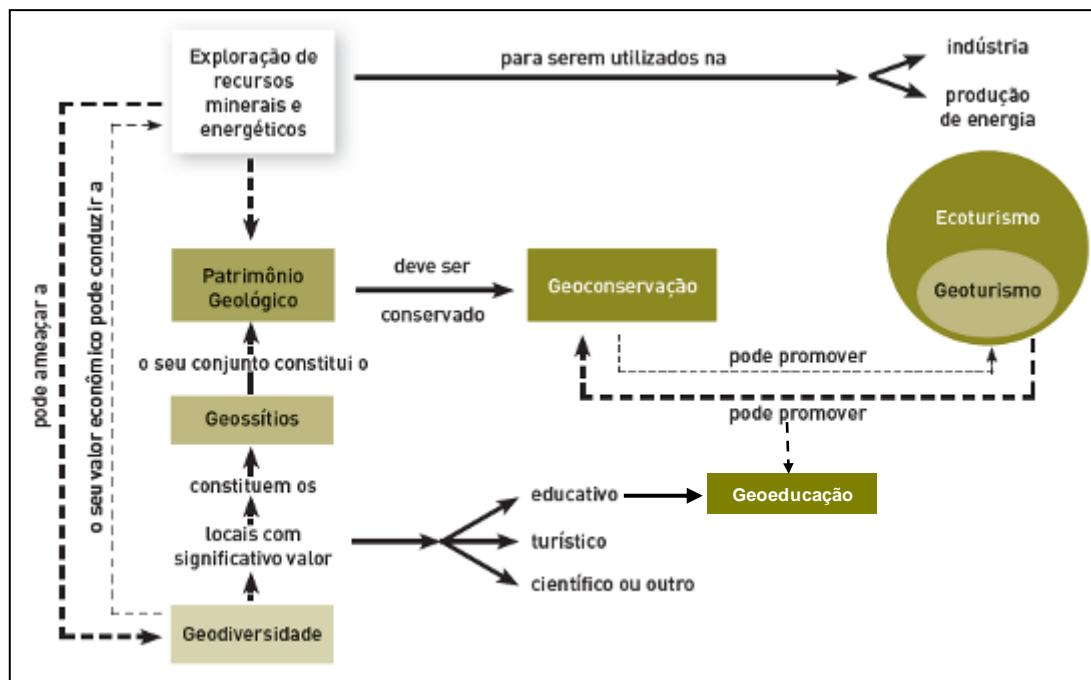
ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

ações de acompanhamento de uso e estratégias de manutenção e conservação, a partir das particularidades do lugar estudado, com envolvimento da comunidade.

Associado à geodiversidade e geoconservação outros termos se conformaram para definição de áreas específicas de predominância de atributos geológicos ou geomorfológicos, os geossítios e geomorfossítios, respectivamente; ao conjunto de atividades relacionadas a visitação turística de áreas com geodiversidade relevante e de forma adequada, o geoturismo; espaços com limites territoriais definidos que agregam geodiversidade com desenvolvimento de atividades geoconservacionistas para mantê-la, os geoparques; e ações e atividades relacionadas ao valor educativo da geodiversidade, considerada por Moura Fé *et al.* (2016) segmento da Educação Ambiental voltada para o cuidado com a geodiversidade, denominada Geoeducação.

A figura 1 demonstra uma representação das relações existentes entre os conceitos de geodiversidade, geossítios, patrimônio geológico, geoconservação e geoturismo a partir de Nascimento, Ruchkys e Mantesso-Neto (2008) com o acréscimo da Geoeducação.

Figura 1 – Relações da Geodiversidade



Fonte: Nascimento, Ruchkys e Mantesso-Neto (2008). Modificado pelas autoras (2021).

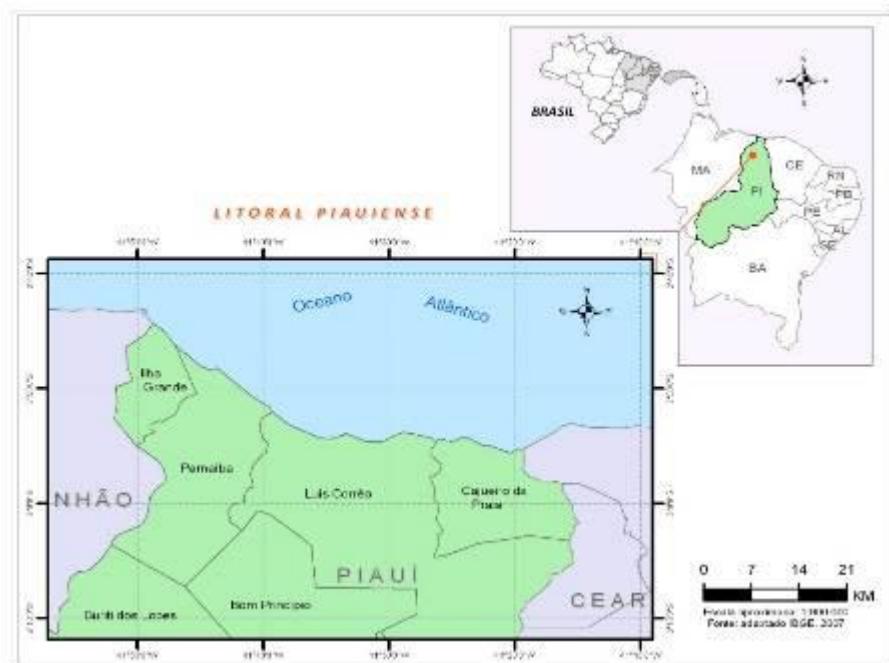
O esquema representado na figura 1 configura as relações que se estabelecem quando pensamos nos elementos da geodiversidade e suas aplicabilidades. Considerando a

necessidade de compreender a complexidade dos estudos que envolvem os recursos da geodiversidade e suas relações com patrimônio geológico, a geoconservação, o geoturismo, e principalmente a geoeducação como ferramenta de conhecimento e valorização sobre estes por meio do envolvimento com a população local a partir de processos educativos formais, não formais e informais.

Elementos da Geodiversidade do Litoral Piauiense

O litoral do Piauí possui faixa litorânea com extensão de 66 km, abrangendo, no contato com o Oceano Atlântico, quatromunicípios costeiros do território piauiense (Figura 2), com a seguinte configuração, no sentido Leste-Oeste: Cajueiro da Praia – 15 km, Luís Correia – 27 km, Parnaíba – 19 km e Ilha Grande – 5 km (BAPTISTA, 2010).

Figura 2 – Mapa de localização geográfica do litoral piauiense.



Fonte: Baptista, 2010.

Deste modo apresenta-se a seguir os elementos da Geodiversidade do litoral piauiense visando o processo de Geoconservação, em 5 (cinco) grupos, a saber: as rochas e as estruturas geológicas, as feições geomorfológicas, entre praias e planícies, os rios e suas formas associadas e os usos e aplicações antrópicas.

ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

As rochas e as estruturas geológicas

A geologia e estruturas da área que corresponde ao litoral piauiense assenta-se sobre a Formação Barreiras, constituindo-se em seu principal substrato geológico, cuja evidência se exemplifica pela existência de micro falésia da praia de Cajueiro da Praia, talhada em terrenos desta, e dos diversos alinhamentos de recifes de arenito presentes em 6 (seis) praias (BAPTISTA, 2010).

Apresenta sedimentos quaternários que se estabelecem sobre esta formação em dinâmica presente e atuante, indicadas por rochas de praia (*beachrocks*) e eolianitos. Os recifes do litoral piauiense constituem-se em importantes testemunhos da variação do nível do mar, atuando como protetores da linha da costa por atenuar a energia das ondas e assim diminuir a erosão marinha, além de serem substratos para desenvolvimento de significativa biodiversidade (BAPTISTA, 2004; 2010), apresentando então relevância geológica, geomorfológica e ecológica.

Registra-se a ocorrência de afloramentos graníticos, como o da praia de Pedra do Sal e os relacionados à Suíte Chaval, por exemplo, no vale do rio Ubatuba, na divisa com o Ceará. Os aspectos da geodiversidade estão organizados no quadro 1 e figura 3.

Quadro 1 – Elementos geológicos ocorrentes no Litoral piauiense.

Estrutura	Local	Municípios
Eolianitos	Praia de Carnaubinha, Itaqui e Coqueiro	Luís Correia
Recifes de arenito de praia (<i>Beachrock</i>)	Praia de Barrinha	Cajueiro da Praia
Recifes de arenito	Praias de Cajueiro da Praia, Morro Branco e Barra Grande	Cajueiro da Praia
	Praias de Maramar, Carnaubinha, Itaqui e Coqueiro	Luís Correia
Formação Barreiras	Toda a faixa litorânea	Todos
Suite Intrusiva Chaval	Vale do rio Ubatuba	Luís Correia
Granitos	Praia de Pedra do Sal	Parnaíba

Fonte: Das autoras, 2021.

Figura 3 – Elementos geológicos ocorrentes no Litoral piauiense



A – Eolianitos na praia de Itaqui, Luís Correia; B –Recifes de arenito de praia (*Beachrock*) na praia de Barrinha, Cajueiro da Praia; C – Recifes de arenito na praia de Cajueiro da Praia no município de Cajueiro da Praia; D – Formação Barreiras na planície de Luís Correia; E – Granitos na praia de Pedra do Sal, Parnaíba.

Fonte: Das autoras, 2021.

Feições geomorfológicas: entre praias e planícies

O recorte morfológico do litoral piauiense descrita por Baptista (1981) indica para este início na barra das Canárias, a oeste na divisa com o estado do Maranhão, seguindo até a barra dupla do rio Ubatuba com o rio Timonha, no território do Ceará, a leste. Neste interim alguns sistemas fluviais se configuraram como recortes entre as praias e também se constituem nas divisas administrativas dos municípios.

As praias piauienses embora em sua maioria se caracterizem por serem arenosas, tanto por sua faixa, como pela presença dos campos de dunas adjacentes, em algumas se expõem rochas de praia (*beachrocks*), recifes de arenito associados à Formação Barreiras e afloramentos graníticos, como nas praias de Barrinha, Coqueiro e Pedra do Sal, respectivamente (BAPTISTA, 2010).

Deste modo, tem-se no quadro 2, também no sentido Leste-Oeste, as seguintes praias conforme se distribuem por seus municípios.

Quadro 2 – Principais praias do Litoral piauiense

Praia	Geodiversidade	Município
Cajueiro da Praia	Sedimentos de praia, Micro falésia e recifes de arenitos da Formação Barreiras, ilha costeira.	Cajueiro da Praia

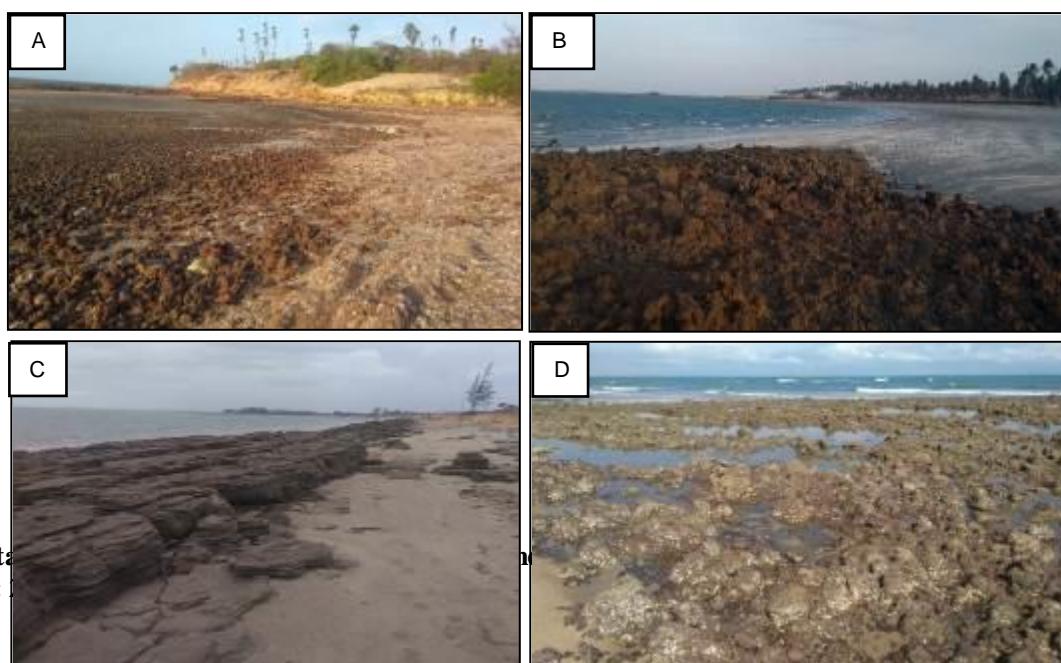
ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

Morro Branco	Sedimentos de praia, recifes de arenitos da Formação Barreiras.	Luís Correia
Barrinha	Sedimentos de praia, recifes de arenito de praia (<i>beachrocks</i>).	
Barra Grande	Sedimentos de praia, pontal arenoso, recifes de arenitos da Formação Barreiras	
Macapá	Sedimentos de praia, planície fluviomarinha.	
Maramar	Sedimentos de praia, recifes de arenitos da Formação Barreiras.	
Carnaubinha	Sedimentos de praia, recifes de arenitos da Formação Barreiras, eolianitos.	
Arrombado	Sedimentos de praia, afloramento rochoso não identificado.	
Itaqui	Sedimentos de praia, pontal arenoso, recifes de arenitos da Formação Barreiras, Eolianitos.	
Coqueiro	Sedimentos de praia, recifes de arenitos da Formação Barreiras, Eolianitos.	
Atalaia	Sedimentos de praia, barra fluvial.	
Pedra do Sal	Sedimentos de praia, afloramento rochoso granítico, promontório.	Parnaíba
Cotia	Sedimentos de praia.	Ilha Grande
Pontal	Sedimentos de praia, planície fluviomarinha (delta do rio Parnaíba).	

Fonte: Das autoras, 2021.

Para este trabalho considerou-se as praias do litoral piauiense (Figura 4) como maior significância em face do conhecimento tanto do público como as registradas nos textos mais antigos sobre a área, descrevendo-as quanto a aspectos básicos da Geodiversidade que as caracterizam enquanto geossítios e/ou geomorfossítios.

Figura 3 – Principais praias do Litoral piauiense





A – Praia de Cajueiro da Praia, Cajueiro da Praia; B – Praia de Morro Branco, Cajueiro da Praia; C – Praia de Barrinha, Cajueiro da Praia; D – Praia de Itaqui, Luís Correia; E – Praia de Pedra do Sal, Parnaíba.

Fonte: Das autoras, 2021.

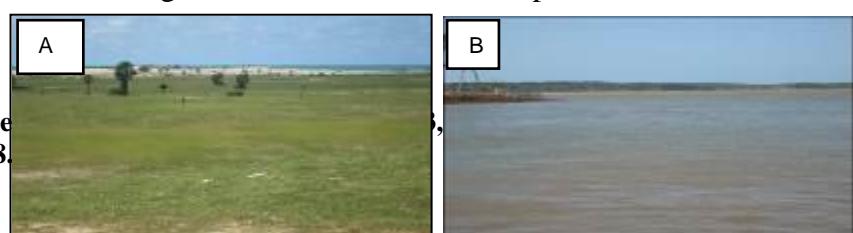
As planícies distinguem-se no litoral piauiense, as fluviais se apresentam geralmente planas constituindo faixas de aluviões, associadas a lagoas, abarcando as áreas de inundação dos rios Parnaíba, Igarassú, Cardoso/Camurupim e Ubatuba. Em relação às lacustres predominam as de água doce com exceção da de Sobradinho, que por sua origem possui água salgada. As fluviomarinhas se estendem por áreas alagadiças com presença de mangues apresentando-se com apicuns ou alagados de maré associados principalmente às planícies dos rios Parnaíba, Igarassú e Cardoso (BAPTISTA; MOURA; SILVA, 2016). Estas planícies se distribuem pelo espaço litorâneo piauiense como indica o quadro 3 e figura 5.

Quadro 3 – Planícies do Litoral piauiense

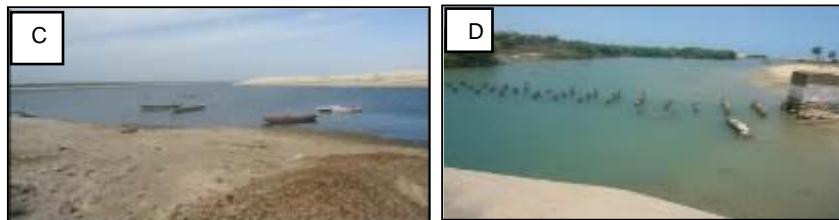
Planície	Local	Municípios
Costeira	Por toda extensão do litoral	Todos
Fluvio marinha	Delta do rio Parnaíba	Ilha Grande
	Rio Santana	Cajueiro da Praia
Fluvial	Rios Cardoso – Camurupim	Luís Correia
	Rio Ubatuba	Cajueiro da Praia
Flúvio lacustre	Rio e lagoa do Portinho	Parnaíba e Luís Correia
	Rio e lagoa da Santana	Cajueiro da Praia
Lacustre	Lagoa Grande, do Sobradinho, do Camelo e do Camurupim	Luís Correia

Fonte: Das autoras, 2021.

Figura 4 – Planícies do Litoral piauiense



ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ



A – Planície costeira, Luís Correia; B – Planície fluviomarinha no Delta do Parnaíba; C – Planície Lacustre na Lagoa de Sobradinho, Luís Correia; D – Planície fluviacustre, Cajueiro da Praia.

Fonte: Das autoras, 2021.

Os rios e suas formas associadas

Os rios e lagoas se constituem feições comuns e importantes para a dinâmica natural como se processa em qualquer área costeira. Compondo a segunda bacia hidrográfica do estado do Piauí, os rios Portinho e Camurupim são os de maior expressividade na área, além evidentemente do rio Igarassú que se constitui no primeiro canal/barra do delta do rio Parnaíba, principal via hídrica do estado (PEREIRA; BAPTISTA; MOURA, 2017).

As lagoas neste contexto, em sua maioria, associadas a um rio ou riacho, são predominantemente de água doce, exceto a do Sobradinho, que se destaca por sua forma e beleza cênica. O quadro 4 e figura 6, indicam a hidrografia básica do litoral do Piauí.

Quadro 4 – Aspectos hidrográficos do Litoral piauiense

Tipos	Sistemas Fluviais e Lacustres	Municípios
Rios e riachos	Ubatuba, Cardoso e Camurupim	Cajueiro da Praia e Luís Correia
	Portinho	Parnaíba e Luís Correia
	Igaracu	Parnaíba e Luís Correia
	Parnaíba – Delta	Ilha Grande
Lagos (lagoas)	Santana ou da Barrinha	Cajueiro da Praia
	Grande, do Sobradinho, do Camelo e do Camurupim	Luís Correia
	Portinho	Parnaíba

Fonte: Das autoras, 2021.

Figura 6 – Aspectos hidrográficos do Litoral piauiense



A – Rio Ubatuba, Cajueiro da Praia; B – Rio Cardoso-Camurupim, Luís Correia; C - Rio Portinho, Luis Correia; D – Rio Igaraçu, Parnaíba.

Fonte: Das autoras, 2021.

Os usos e aplicações da geodiversidade

Pode-se observar diversos elementos construídos derivados certamente de diferentes recursos da natureza abiótica, e que serviram/servem ao propósito de melhor direcionar a vida e o trabalho da sociedade que deles fazem usufruto, com destaque para os faróis, para o quebra-mar na barra da Amarração e para esculturas do rochas dos recifes de arenito presentes em Luís Correia. Estes e outros exemplos estão indicados no quadro 5 e figura 7.

Quadro 5 – Exemplos de usos da Geodiversidade no litoral do Piauí

Tipo	Exemplo	Local	Município
Edificações	Quebra-mar (molhe)	Praia de Atalaia	Luís Correia
	Farol	Praia de Pedra do Sal	Parnaíba
		Barra do Igaraçu (Foco luminoso)	Parnaíba e Luís Correia
		Praia de Atalaia (em ruínas)	Luís Correia
	Aerogeradores	Praia de Pedra do Sal	Parnaíba
		Planície Ilha Grande	Ilha Grande
	Estações ferroviárias	De Luís Correia	Luís Correia
		De Atalaia (em ruínas)	
	Resorts	Praia de Itaqui	Luís Correia
		Praia de Carnaubinha	
	Residências	Por todo o litoral	Todos
	Pousadas, bares e restaurantes	Por todo o litoral	Todos
Esculturas	Recifes	Calçada na estrada para	Luís Correia

ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

Pavimentações		praia de Atalaia	
	Cruzeiro	Rotatória de entrada da sede de Cajueiro da Praia	Cajueiro da Praia
	Nossa Senhora dos Navegantes	Santuário sobre os rochedos na praia de Pedra do Sal	Parnaíba
	Nossa Senhora Mãe dos Pobres	Santuário de Morros da Mariana	Ilha Grande
	Estradas	Por todo o litoral	Todos
Ruas vicinais		Seguindo a orla da praia de Cajueiro da Praia à praia de Barra Grande	Cajueiro da Praia
		Av. Martins Ribeiro que dá acesso a praia de Pedra do Sal a partir de Morros da Mariana, sede do município.	Ilha Grande
	Calçadão	Orla da praia de Atalaia	Luís Correia

Fonte: Das autoras, 2021.

Figura 6 – Exemplos de usos antrópicos da Geodiversidade no litoral do Piauí



A – Farol da praia da Pedra do Sal sobre o promontório rochoso, Parnaíba; B – Parque Eólico com os aerogeradores na praia de Pedra do Sal, Parnaíba; C – Santuário sobre os rochedos na praia de Pedra do Sal, Parnaíba; D – Quebra-mar (molhe), Luís Correia; E – Cruzeiro, Cajueiro da Praia; F – Escultura, Luis Correia.

Fonte: Das autoras, 2021.

Considerações Finais

A ampliação de conhecimentos específicos a respeito dos elementos da geodiversidade do litoral piauiense, que se constituem em afloramentos rochosos, planícies lacustres, planícies fluviais, planícies fluviomarinhas, afloramentos rochosos, recifes de arenitos e de arenito de praia (*beachrocks*), eolianitos, campos de dunas, delta, entre outros, proporcionando também sua valorização, e possibilita um melhor reconhecimento de seus elementos abióticos, contribuindo como um fator de Geoconservação dos recursos litorâneos do estado.

Diante do exposto, espera-se que este trabalho venha contribuir para o entendimento e compreensão acerca dos elementos da geodiversidade que o litoral piauiense apresenta, destacando o processo de geoconservação para proteção, valorização e divulgação destes, a partir também de atividades geoturísticas e geoeducativas. Aponta-se que possa servir de incentivo para estudos futuros sobre a temática da geodiversidade e geoconservação em ambientes litorâneos.

Referências

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. **Caracterização e importância ecológica e econômica dos recifes da zona costeira do Estado do Piauí**. 2004. 290 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina, 2004.

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. **Estudo morfosedimentar dos recifes de arenito da zona litorânea do estado do Piauí, Brasil**. 2010. 305 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. Geoeducação e Geoconservação no Litoral do Piauí: valorização da Geodiversidade através de ferramentas didáticas. In: BAPTISTA, Marcus Pierre de Carvalho; NASCIMENTO, Francisco de Assis de Sousa; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; SILVA, Brenda Rafaële Viana da (org.). **Dos tempos à viração, dos ventos à amarração: Estudos Histórico-Geográficos sobre o Litoral do Piauí**. Teresina: EDUFPI, 2020. v. 1, p. 257-294.

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; MOURA, Liége de Souza; SILVA, Brenda Rafaële Viana da. Geomorfologia e Geodiversidade do litoral piauiense para fins de Geoconservação. **Revista de Geociências do Nordeste – REGNE**, Natal, v. 2, Número Especial, p. 1250-1258, 2016.

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.18 – 34 , Janeiro/Junho, 2022.
ISSN: 2675-9748.

ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; MOURA, Liége de Souza; SILVA, Brenda Rafaële Viana da. Processos geoeducativos e valorização do patrimônio geomorfológico do litoral do Piauí, Brasil. *In: ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE PATRIMÓNIO GEOMORFOLÓGICO E GEOCONSERVAÇÃO*, 3., 2019, Guimarães, Portugal. **Anais** [...]. Guimarães, Portugal: CEGOT/UMinho, 2019. p. 306-321.

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; SILVA, Brenda Rafaële Viana da; MOURA, Liége de Souza. Patrimônio Natural e Perspectivas para a Geoconservação no Litoral do Estado do Piauí, Brasil. *In: ENCONTRO LUSO-BRASILEIRO DE PATRIMÓNIO GEOMORFOLÓGICO E GEOCONSERVAÇÃO*, 1., 2014, Coimbra, Portugal. **Atas / Proceedings**[...]. Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra, 2014. p. 1-6.

BAPTISTA, João Gabriel. **Geografia física do Piauí**. Teresina: COMEPI, 1981.

BRILHA, José Bernardo Rodrigues. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage, 2005. FERREIRA, Bruno Martins; LIMA, Cláudia Valéria de; CANDEIRA, Carlos Roberto. Conceitos e escopo de geodiversidade: uma breve descrição. **Revista Interface**, n. 16, p. 72 – 81, dezembro 2018.

GRAY, Murray. Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? **The George Wright Forum**, v. 22, n. 3. Hancock, USA: 2005.

GRAY, Murray. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. Chichester, England: John Wiley& Sons Ltd, 2004.

HENRIQUES, Maria Helena; REIS, Rui Pena dos; BRILHA, José Bernardo Rodrigues; MOTA, Teresa. Geoconservation as na Emerging Geoscience. **Geoheritage**, n. 3. Switzerland: 2011.

LOPES, Laryssa Sheydder de Oliveira. **Estudo metodológico de avaliação do patrimônio geomorfológico**: Aplicação no litoral do estado do Piauí. 2017. 215 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

MAZUCATO, Thiago (org.). **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. Penápolis: FUNEPE, 2018. p. 59-78.

MOURA FÉ, Marcelo Martins de; PINHEIRO, Mônica Virna de Alencar; JACÓ, Dionízia de Melo; OLIVEIRA, Bruna Almeida de. Geoeducação: a Educação Ambiental aplicada na Geoconservação. *In: SEABRA, Giovanni (org.). Educação Ambiental & Biogeografia*. Ituiutaba: Barlavento, 2016. p. 829-842.

NASCIMENTO, Marcos Antonio Leite.; RUCHKYS, Úrsula de Azevedo; MANTESSO-NETO, Virgílio. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo**: trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

Brenda Rafaele Viana da Silva, Elisabeth Mary de Carvalho Baptista, Liége de Souza Moura

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

PEREIRA, Diamantino; BRILHA, José; PEREIRA, Paulo. **Geodiversidade** valores e usos. Braga Universidade do Minho, 2008.

PEREIRA; Luana Shara do Nascimento, BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; MOURA, Liége de Souza. Rios do litoral piauiense: geomorfologia, geodiversidade e geoconservação. In: *In: WORKSHOP DE GEOMORFOLOGIA E GEOCONSERVAÇÃO*, 1., 2017, Teresina. **Anais** [...]. Teresina: UFPI/UESPI/IFPI, 2017. p. 118-123.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; Fernanda Soares de Miranda; BRANDÃO, Ricardo de Lima (org.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013.

SHARPLES, Chris. **A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes**. Hobart: Forestry Commission, 1993.

SHARPLES, Chris. **Concepts and principles of geoconservation**. Published electronically on the Tasmanian Parks & Wildlife Service web site. 3. ed. set. 2002.

SILVA, Brenda Rafaele Viana da. **Avaliação do Patrimônio Geológico-Geomorfológico da Zona Litorânea Piauiense para fins de Geoconservação**. 2019. 231 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.

SILVA, Brenda Rafaele Viana da; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; MOURA, Liége de Souza. Paisagens Naturais do Litoral Piauiense: (Re) Descoberta para a Geoconservação. **Revista Equador**, Teresina, v. 4, n. 3, p. 178-184, 2015. Edição especial 2.

SILVA, Brenda Rafaele Viana da; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. Roteiro Geológico-geomorfológico do Litoral Piauiense: Caminhos para a Geoconservação. **Revista Geonorte**, Manaus, v.10, n.1, p.146-149, 2014.

SILVA, Brenda Rafaele Viana da; LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. Geossítios da Zona Litorânea Piauiense: caracterização para fins de Geoconservação. In: BAPTISTA, Marcus Pierre de Carvalho; NASCIMENTO, Francisco de Assis de Sousa; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; SILVA, Brenda Rafaele Viana da (org.). **Dos tempos à viração, dos ventos à amarração**: Estudos Histórico-Geográficos sobre o Litoral do Piauí. Teresina: EDUFPI, 2020. v. 1, p. 97-131.

SILVA, Brenda Rafaele Viana da; LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. Geodiversidade e Geoturismo na praia de Pedra do Sal,

ELEMENTOS DA GEODIVERSIDADE PARA A GEOCONSERVAÇÃO DO LITORAL DO PIAUÍ

Parnaíba – PI: Valores, aspectos socioambientais e estratégias. *In: SILVA, Francisco Jonh LennonTavares da; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de; AQUINO, Renê Pedro de (org.). Questões Socioambientais Urbanas no Piauí: Diferentes enfoques.* Teresina: EDUFPPI, 2018. p. 49-71.

STANLEY, Mick. Geodiversity strategy. **Progeo News**, n, 1, p. 6-9, 2001.

STANLEY, Mick. Geodiversity. **Earth Heritage**, v. 14, p. 15-18, 2000.



VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

Tourist value of the geomorphosites of the municipality of Castelo do Piauí, Piauí, Brazil

Cláudia Maria Sabóia de Aquino¹, Renê Pedro de Aquino², Jhony Gonçalves de Lima³, Helena Vanessa Maria da Silva⁴

^{1,*} Doutora em Geografia, Universidade Federal do Piauí; cmsaboa@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-7452>

² Mestre em Geografia, Professor do curso de graduação em Geografia da Universidade Estadual do Piauí (UESPI). E-mail: rene.uespi@hotmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4142-6764>

³ Mestrando em Geografia da Universidade Federal do Ceará. E-mail: jhonyfriends2010@hotmail.com; ORCID:

⁴ Doutoranda em Geografia, Universidade Federal do Ceará; helenavanessa95@hotmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9086-2808>

RESUMO: O objetivo da pesquisa foi apontar os geomorfossítios inventariados preliminarmente em Lima (2019) e avaliar o valor turístico dos mesmos com base em Pereira (2010). Dos dez geomorfossítios inventariados, 7 apresentaram baixos valor turístico, resultado da ausência de qualquer tipo de estrutura, aliada à dificuldade de acesso aos mesmos e ainda a incipiente taxa de visitação. Apenas 3 geomorfossítios apresentaram valor turístico entre 1,2 e 2,6, considerados no estudo como de alto valor turístico, tendo sido eles: i) mini cânion do buritizinho com valor médio 1,2; ii) Pico dos André com valor médio de 1,6 e iii) pedra do Castelo com valor médio de 2,6. O aspecto estético, a infraestrutura, a existência de utilização em curso, aliado à presença de mecanismos de controle de visitantes justificam o alto valor turístico do geomorfossítio Pedra do Castelo. Considerando o potencial dos geomorfossítios para a prática turística, recomenda-se o fomento ao turismo que pode ser uma importante alternativa de desenvolvimento local.

Palavras-chave: Geomorfossítios; Valor turístico; Pontos de interesse geodidático; Desenvolvimento local.

ABSTRACT: The objective was to point out the geomorfossítios preliminarily inventoried in Lima (2019) and evaluate the tourist value thereof based on Pereira (2010). Of the ten geomorfossítios inventoried, 7 had low tourist value, resulting from the absence of any kind of structure, combined with the difficulty of access to them and still incipient visitation rate. Only 3 geomorfossítios presented tourist value between 1.2 and 2.6, as considered in the study of high tourist value, being them: i) mini canyon Buritizinho an average value 1.2; ii) Pico dos André with an average value of 1.6 and iii) Pedra do Castelo with an average value of 2.6. The aesthetic aspect, the infrastructure, the existence of ongoing use, coupled with the presence of visitors control mechanisms justify the high tourist value of geomorfossítio Pedra do Castelo. Considering the potential of geomorfossítios for tourism practice, it is recommended the promotion of tourism can be an important alternative for local development.

Keywords: Geomorfossítios; Touristic value; Geodidático points of interest; Local development.

1 Introdução

O planeta Terra, ao longo de aproximadamente 4,5 bilhões de anos, tem sofrido significativas transformações (geológicas, geomorfológicas, climáticas, biológicas, etc). Transformações estas que explicam a diversidade de nosso planeta. Desta forma compreende-se que a paisagem atual resulta de processos pretéritos e atuais ocorrentes em nosso planeta.

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

A Terra como um sistema comporta a esfera abiótica da natureza e a biótica. Por muito tempo, os aspectos bióticos da natureza foram priorizados como objeto de estudo, contudo, a partir dos anos de 1990 constatou-se o aumento das preocupações com a esfera abiótica da natureza, culminado assim com o estabelecimento de um segmento de estudos voltados a temática da geodiversidade.

Considerada uma temática contemporânea, os estudos relacionados à Geodiversidade, Geopatrimônio e temas afins vêm sendo amplamente discutidos e divulgados no âmbito das Ciências da Terra (NASCIMENTO, RUCHKYS, MANTESSO-NETO, 2008).

Para Barreto (2007) a geodiversidade compreende as variações observadas nas rochas, depósitos e processos geológicos que constroem e destroem a crosta terrestre, demasiadamente relacionada com a biodiversidade. Já Gray (2004) considera a geodiversidade como a variedade ou diversidade natural de feições ou elementos geológicos, geomorfológicos e de solo, incluindo suas associações, relações, propriedades, interpretações e sistemas.

CPRM (2006) e Pereira (2010) convergem nas ideias e definem a geodiversidade como a natureza abiótica constituída por uma grande variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, solos, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra.

Rojas Lopez (2005) conceitua geodiversidade como a diversidade do espaço geográfico definida pela diversidade que provém da própria natureza (meio físico geográfico) e a que decorre dos processos sociais, como a produção, povoamento e circulação (o homem e suas atividades), sendo um conceito relativo à distribuição espacial de complexos territoriais diferenciados por seus atributos espaciais e descriptivos em distintas escalas geográficas. Neste conceito constata-se o emprego de uma abordagem geográfica a partir do emprego de termos como espaço geográfico, meio físico geográfico, complexos territoriais, escalas geográficas, assim como a consideração da diversidade da própria natureza a partir de processos sociais.

Considerando a amplitude conceitual do termo geodiversidade, que engloba, dentre outros temas, processos geológicos, rochas, minerais, água, solos, fósseis, relevo e outros, vários estudos foram, ao longo do tempo, sendo estabelecidos e termos individualizados, a exemplo de patrimônio geológico, geopatrimônio, patrimônio geomorfológico e geomorfossítio, etc.

Por não constituir objetivo do presente estudo uma discussão conceitual dos termos acima apresentados, apenas o conceito de geomorfossítiio será empregado nos locais de relevante interesse considerando a geodiversidade inventariada no município de Castelo do Piauí.

Leal e Cunha (2014) enfatizam que nas últimas décadas, a classificação de elementos, sítios e paisagens como patrimônio natural de caráter geomorfológico tem assumido um maior interesse e visibilidade científica, social e econômica, sobretudo considerando a promoção de atividades (geo)turísticas, desportivas e de educação ambiental.

O patrimônio geomorfológico é constituído por elementos geomorfológicos, pelo conjunto de formas de relevo (geoformas, processos), solos e depósitos correlativos que apresentam um ou mais tipos de valores, raridade e/ou originalidade, em variadas escalas (PEREIRA, 1995; VIEIRA, CUNHA, 2004; PEREIRA, 2006; RODRIGUES; FONSECA, 2008).

O patrimônio geomorfológico compreende o conjunto de locais de interesse geomorfológico, que adquiriram valor derivado da percepção humana, identificados através de sua avaliação científica, devendo ser submetidos a processos de proteção e valorização (PEREIRA, 2006).

Pereira (2006) destaca que os locais de interesse geomorfológico podem ser designados de geomorfossítios. Para Panizza (2001) um geomorfossítiio é uma paisagem particular com significativos atributos que a qualificam como componente do patrimônio cultural (no sentido amplo) de determinado território.

Geomorfossítiio pode ser definido como um tipo de relevo com aspectos geomorfológicos significativos e únicos, qualificando-o como um componente da herança cultural de um território (PANIZZA; PIACENTE, 2008).

Para Lopes (2017) geomorfossítios, são áreas naturais onde os atributos principais estão relacionados à dinâmica geomorfológica e às formas de relevo, em diferentes escalas, aos quais podem ser atribuídos valores (científico, ecológico, cultural, turístico, didático, estético, dentre outros).

As inúmeras potencialidades de exploração dos locais de relevante interesse (geológico, mineralógico, geomorfológico, etc), aliado ao baixo desempenho econômico da maioria dos municípios do Estado do Piauí, justificam a pesquisa que tem como objetivo a i) identificação de geomorfossítios já inventariados na área de estudo e ii) a avaliação quantitativa dos mesmos para fins turísticos, como forma de evidenciar aos gestores públicos

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

o potencial turístico dos mesmos e a partir de sua exploração sustentável quiça dinamizar a economia do município.

2 Metodologia

A pesquisa iniciou-se com o levantamento de dados cartográficos, bibliográficos e pesquisa de campo, esta realizada no período de 7 a 9 de outubro do ano de 2019.

A identificação dos geomorfossítios baseou-se na técnica *ad hoc*. Esta técnica, descrita por Sharples (2002), consiste em uma estratégia de consulta a especialistas; a residentes locais que conheçam a área de interesse; referenciais bibliográficos (revistas, textos científicos e redes sociais) e trabalhos de campo para identificar locais que se enquadram no objetivo da pesquisa.

A mensuração do Valor Turístico (Vtur) dos geomorfossítios baseou-se em metodologia proposta por Pereira (2010). O valor Turístico (Vtur) reúne parâmetros que permitem uma avaliação da realidade atual, referente à utilização turística dos sítios de geodiversidade. Sendo assim, engloba as características vinculadas à acessibilidade, à presença de infraestruturas, à utilização do local no momento presente e à eventual presença de medidas de controle do número de visitantes, o que permite uma avaliação futura da capacidade de carga dos sítios de geodiversidade. Este conjunto de parâmetros é indicativo da relevância e do potencial turístico do mesmo. Os parâmetros, a descrição dos mesmos e os valores são expostos no Quadro 1. O Valor Turístico foi obtido pela Equação: (Vtur) = (P1+P2+P3+P4+P5)/5.

Quadro 1: Parâmetros de classificação do Valor Turístico (Vtur), conforme Pereira (2010).

Parâmetros (P)	Descrição	Valores				
		0	1	2	3	4
Aspecto estético (P1)	Relativo ao aspecto à beleza cênica do local.	Geomorfossí tio sem qualquer relevância estética, inserido em local sem qualquer beleza cênica.		Geomorfossít io inserido em local aprazível ou dotado de algum elemento com apelo estético		Geomorfossít io dotado de espetacularidade estética e inserido em local aprazível, dotado de beleza cênica
Acessibilidade (P2)	Indicativo das dificuldades de acesso	Acessível a partir de trilha com	Acessí vel a partir de trilha	Acessível a partir de estradas não asfaltadas e	Acessível a partir de estradas asfaltadas e	Acessível diretamente através de estradas

		mais de 5 km de extensão	com 2 a 5 km de extensão	trilha com menos de 2 km de extensão	trilha com menos de 2 km de extensão	Principais (federais ou estaduais) asfaltadas
Presença de infraestrutura (P3)	Indicativo da presença de infraestruturas que facilitem e sirvam de apoio para a utilização do local.	Ausência de qualquer infraestrutura		Dotado de infraestrutura rudimentar, mas que sirvam de apoio ao visitante		Dotado de infraestrutura plena que prestem todo o apoio ao visitante
Existência de utilização em curso (P4)	Indica as condições atuais de utilização turística do geomorfossítio	Geomorfossítio sem qualquer uso atual.	Geomorfossítio com alguma taxa de visitação, porém ainda incipiente.		Geomorfossítio com alta taxa de visitação, porém sem mecanismo de controle de visitantes.	Geomorfossítio com elevada taxa de visitação e dotado medidas de controle de visitantes.
Presença de mecanismos de controle de visitantes (P5)	Indicativo da existência de medidas de controle dos visitantes.	Ausência de qualquer tipo de controle		Existência de um mecanismo não sistemático de controle, de caráter ainda incipiente.		Existência de controle sistemático e eficiente de visitantes.

Fonte: Organização dos autores, 2020.

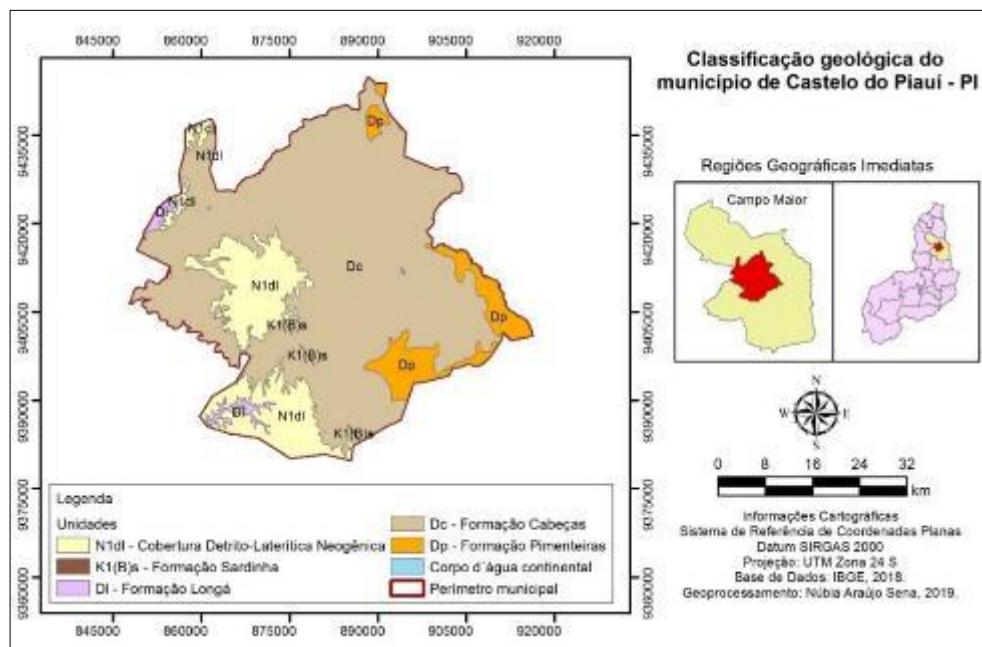
2.1 Caracterização geoambiental do município de Castelo do Piauí, Piauí, Brasil

Aspectos geológico e geomorfológico

As unidades geológicas que ocorrem no âmbito do município correspondem a diversas coberturas sedimentares da bacia Maranhão-Piauí. A Formação Pimenteiras reúne arenito, siltito e folhelho. A Formação Cabeças engloba arenito, conglomerado e siltito. Segue-se a Formação Longá compreendendo arenito, siltito, folhelho e calcário. Além da Formação Sardinha Destacam-se os Depósitos Colúvio-eluviais, reunindo areia, argila, cascalho e laterita conforme mostra a figura 2 (AGUIAR; GOMES, 2004).

Figura 2: Esboço geológico do município de Castelo do Piauí/Brasil.

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

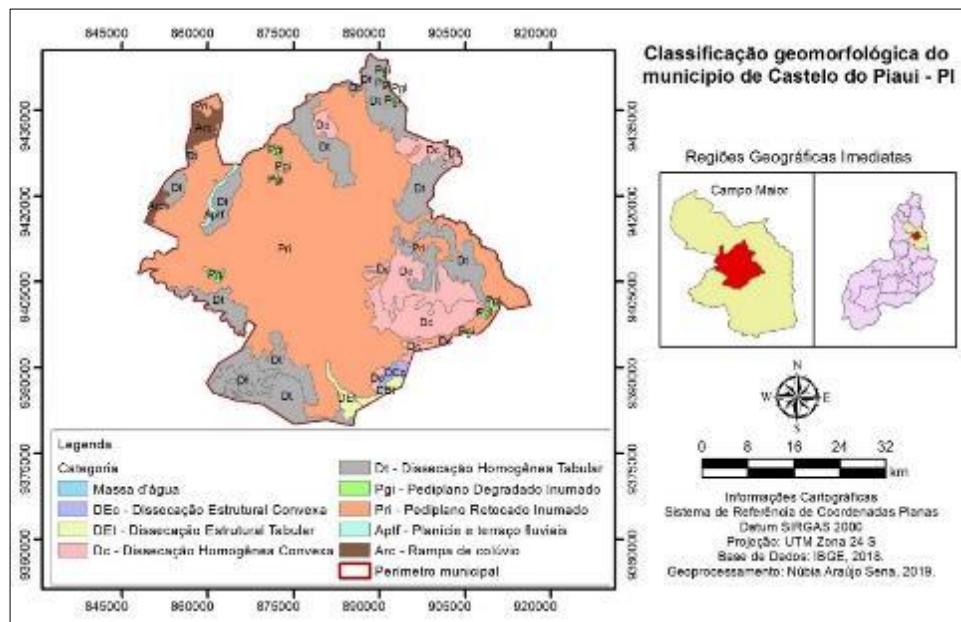


Fonte: Lima, 2019.

Segundo Aguiar; Gomes (2004) as feições geomorfológicas da região são resultantes em grande parte dos processos de pediplanação e dissecação (Figura 3). Apresentando na região superfícies aplainadas com presença de áreas deprimidas, que formam lagoas temporárias.

IBGE (2009) identificou as seguintes feições geomorfológicas: Dissecção estrutural convexa (DEc), Dissecção Estrutural Tabular (DEt), Dissecção Homogênea Convexa (Dc) e Dissecção homogênea tabular (Dt), pediplano degradado inumado (Pgi) e Pediplano retocado inumado (Pri), Planície e terraço (Aptf) correspondendo a áreas planas resultantes de acumulação fluvial, periodicamente alagadas, comportando meandros abandonados e cordões arenosos e ainda as Rampa de Colívio (Arc) formas de fundo de vale suavemente inclinadas, associadas à coalescência de depósitos coluviais provenientes das vertentes que se interdigitam e/ou recobrem os depósitos aluvionares. Ocorre em setores de baixa encosta, em segmentos côncavos que caracterizam as reentrâncias (hollows) ou depressões do relevo nos anfiteatros (IBGE, 2009).

Figura 3: Esboço geomorfológico do município de Castelo do Piauí/Brasil.

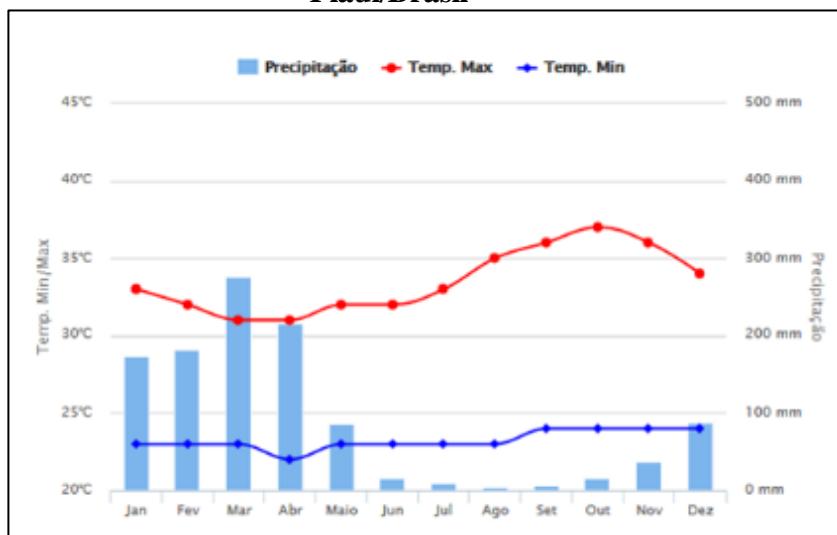


Fonte: Lima, 2019.

Aspectos Climáticos e pedológicos

As condições climáticas do município de Castelo do Piauí (com altitude da sede a 239 metros acima do nível do mar) apresentam temperaturas mínimas de 23°C e máximas de 35°C com clima quente tropical conforme figura 4.

Figura 4: Comportamento da temperatura e precipitação do município de Castelo do Piauí/Brasil



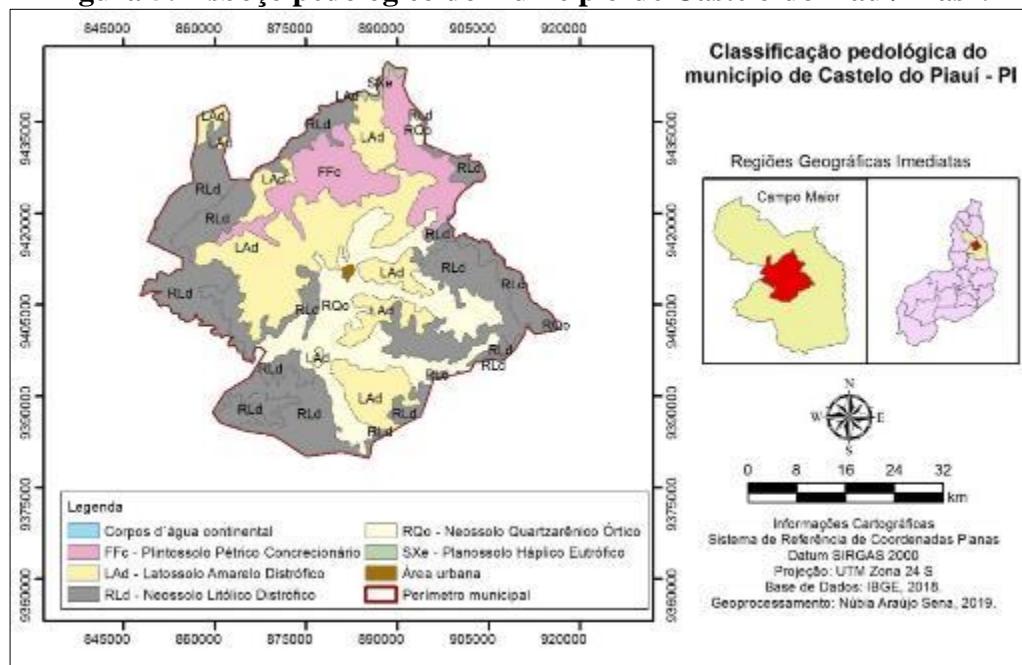
Fonte: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/1284/castelodopiaui-pi>

A precipitação pluviométrica média anual é definida no Regime Equatorial Marítimo, com isóetas anuais entre 80 a 1.600 mm, cerca de 5 a 6 meses como os mais chuvosos e período restante do ano de estação seca (BRASIL, 1973; JACOMINE, 1986). Os meses de janeiro, fevereiro, março e abril correspondem aos mais chuvosos na região.

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

De acordo com Jacomine (1986) e Brasil (1973), os solos da região compreendem principalmente plintossolos, latossolos, neossolos litólicos e neossolos quartzarênicos e Planossolos, como mostra figura 5 e, secundariamente, solos arenosos essencialmente quartzosos, profundos, drenados, desprovidos de minerais primários, de baixa fertilidade, com transições vegetais, fase caatinga hiperxerófila e/ou cerrado sub-caducifólio/floresta sub-caducifólia e/ou carrasco.

Figura 5: Esboço pedológico do município de Castelo do Piauí/Brasil.

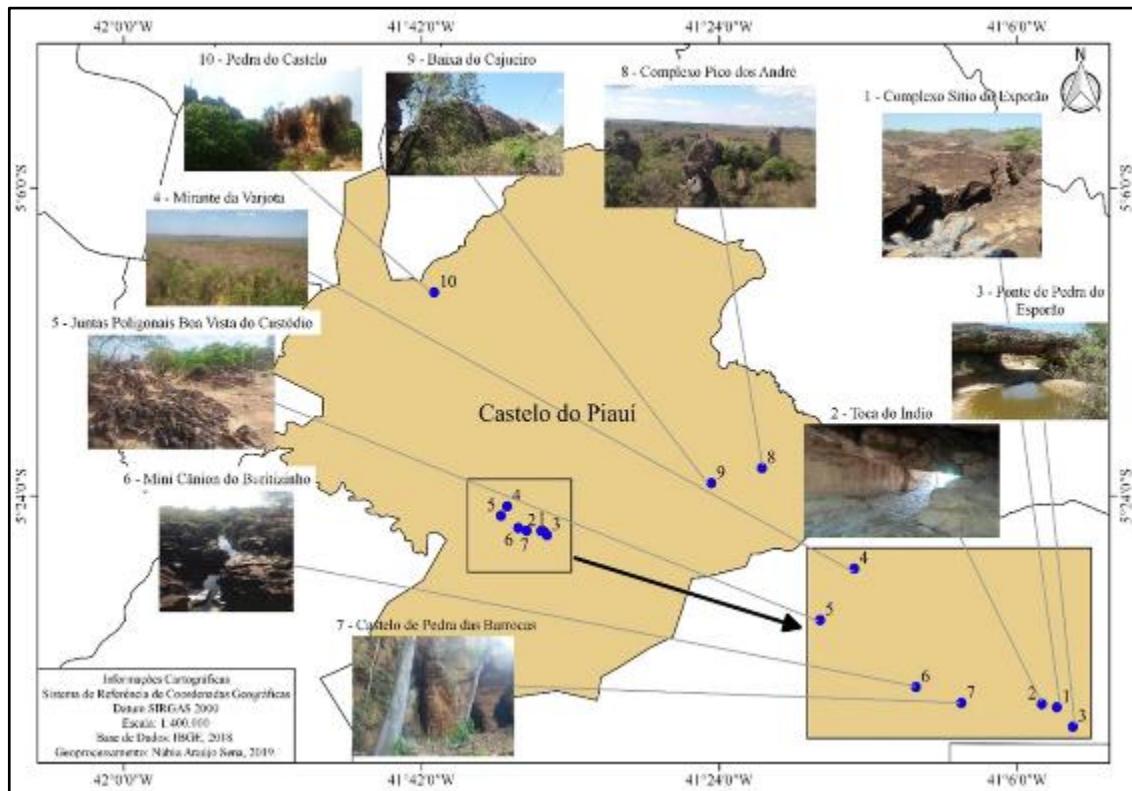


Fonte: Lima, 2019.

3 Resultados

Os geomorfossítios que tiveram seu valor turístico analisados neste estudo foram identificados por Lima (2019). Os geomorfossítios foram os seguintes: i) Mini Cânion do Esporão, ii) Toca do Índio iii) Ponte de Pedra do Esporão, iv) Mirante da Varjota, v) Juntas Poligonais Boa Vista do Custódio, vi) Mini Cânion do Buritizinho, vii) Castelo de Pedra das Barrocas, viii) Pico dos André, ix) Baixa do Cajueiro e x) Pedra do Castelo (Figura 6).

Figura 6: Geomorfossítios no município Castelo do Piauí/Brasil



Fonte: Lima, 2019.

A seguir é apresentada uma descrição breve de cada geomorfossíti.

Geomorfossíti Mini Cânion do Esporão

Refere-se a um canal fluvial do rio São Miguel que esculpiu um pequeno cânion, onde podem ser observados afloramentos de rochas ao longo do canal (Figura 7).

Figura 7: Geomorfossíti Mini Cânion do Esporão



Fonte: Lima, 2019.

Localiza-se na comunidade das Barrocas, zona rural do município de Castelo do Piauí-PI, a 22 km do centro da cidade, e está situado entre as coordenadas geográficas: 05° 26' 40.7" de latitude sul e 041° 34' 36.4" de longitude oeste, a uma altitude de 199 metros.

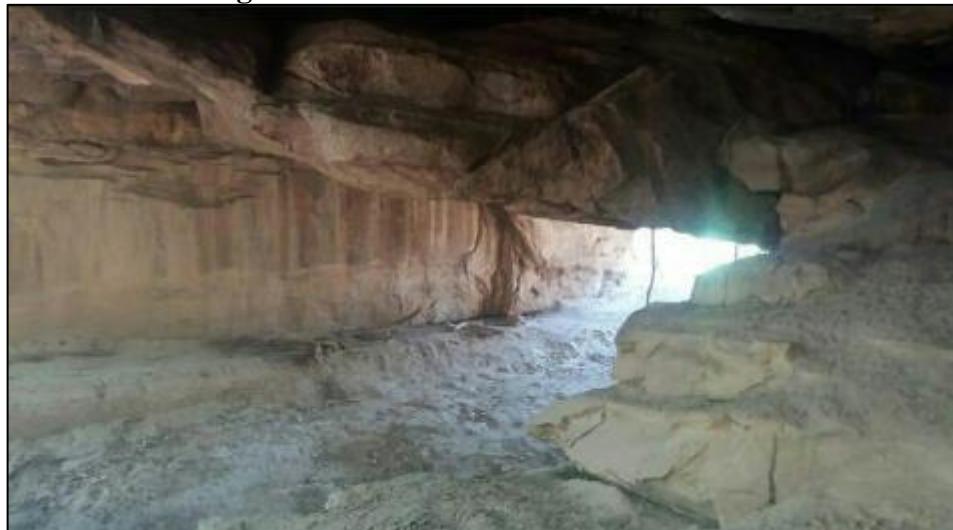
VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

O mini cânion foi esculpido a partir de incisão linear do rio São Miguel ao longo do tempo geológico. Constatase processos de erosão diferencial, que segundo Guerra (1993) é o trabalho desigual dos agentes erosivos ao devastarem a superfície do relevo. Ainda segundo o autor há rochas que resistem mais e outras menos a erosão.

Geomorfossítio Toca do Índio

Localiza-se nas coordenadas 05° 26' 02.6" de latitude sul e 041° 34' 46.3" de longitude oeste, ainda na comunidade Barrocas, a uma altitude de 158 metros (Figura 8). Trata-se de uma gruta com aproximadamente 20 metros de comprimento, que foi formada e moldada pela ação fluvial do rio São Miguel e pela erosão diferencial. Segundo Guerra (1993) as grutas ou cavernas são cavidades de formas variadas que aparecem mais frequentemente nas rochas calcárias ou em arenitos de cimento calcário, são formadas pela erosão mecânica e também pela pressão hidrostática.

Figura 8: Geomorfossítio Toca do Índio.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossítio Ponte de Pedra do Esporão

Situado nas coordenadas 05° 26' 17.1" de latitude sul e 041° 34' 25.8" de longitude oeste, localiza-se na localidade Barrocas (zona rural do município de Castelo do Piauí). Tem altitude de 189 metros, apresenta estrutura em arenitos e faz parte da formação Cabeças (Figura 9).

Figura 9: Geomorfossítio Ponte de Pedra do Esporão.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossítio Mirante da Varjota

Na comunidade Varjota entre as coordenadas geográficas 05° 24' 36.2" de latitude sul e 041° 36' 50.00" de longitude oeste, a 171 metros, está localizado o Geomorfossítio Mirante da Varjota (Figura 10).

Figura 10: Geomorfossítio Mirante da Varjota.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossítio Juntas Poligonais Boa Vista do Custódio

O Geomorfossítio Juntas Poligonais Boa Vista do Custódio compreende um afloramento rochoso de arenito, que chama a atenção de longe, ao ser visualizado da estrada,

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

pois apresenta uma feição peculiar que lembra cérebros, isso é resultado de um processo de erosão diferencial nas rochas do arenito. Localiza-se nas coordenadas $05^{\circ} 25' 09.0''$ de latitude sul e $041^{\circ} 37' 12.5''$ de longitude oeste e possui 196 metros de altitude, na zona rural do município, na comunidade Boa Vista do Custódio (Figura 11).

Figura 11: Geomorfossítio Juntas Poligonais Boa Vista do Custódio.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossítio Mini Cânion do Buritizinho

O Mini Cânion do Buritizinho está entre $05^{\circ} 25' 51.7''$ de latitude sul e $041^{\circ} 36' 09.3''$ de longitude oeste, e possui 180 metros de altitude. Trata-se de um pequeno cânion com rochas aflorando ao longo do canal fluvial do rio São Miguel (Figura 12).

Figura 12: Geomorfossítio Mini Cânion do Buritizinho.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossíti Castelo de Pedra das Barrocas

Trata-se de um exuberante Geomorfossíti em formato de Castelo, em que a erosão diferencial moldou toda a estrutura rochosa formando salões, dando a ideia de um castelo. Tal processo resultou em grandes arcos na rocha, possuindo entradas que dão acesso à parte interior do geomorfossíti. Na parte superior, um mirante que permite uma ampla visão no entorno da área e ainda apresenta alvéolos e inscrições rupestres. Está localizado na comunidade Barrocas, na latitude 05° 26' 01.9" sul e longitude 041° 35' 39.3" oeste, e altitude de 223 metros (Figura 13).

Figura 13: Geomorfossíti Castelo de Pedras das Barrocas.



Fonte: Lima, 2019.

Constata-se neste Geomorfossíti inscrições rupestres, que sugerem a passagem de povos primitivos pelo local (Figura 14).

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

Figura 14: Inscrições rupestres encontradas no Geomorfossítio Castelo de Pedras das Barrocas.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossítio Pico dos André

O Geomorfossítio denominado de Pico dos André engloba diversas geoformas com os mais variados tamanhos e formatos. São formas de relevo ruiniformes elaboradas em arenitos da formação cabeças, que se destacam na paisagem, alguns em formato de pináculos ou picos, que justificam o nome dado ao geomorfossítio. Localiza-se nas coordenadas 05° 22' 21.8" latitude sul e 041° 21' 25.7" apresenta altitude de 516 metros (Figura 15).

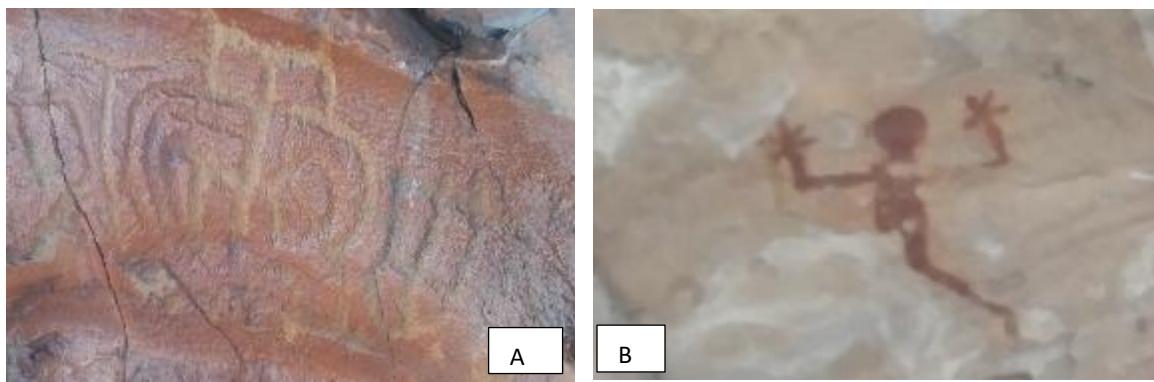
Figura 15: Geomorfossítio Pico dos André.



Fonte: <https://cidadeverde.com/>

Este Geomorfossítio é dotado de rara beleza sendo comum no mesmo inscrições rupestres e gravuras, aspectos que podem impulsionar a atividade do turismo na área (Figura 16).

Figura 16: Gravura em (A) e pintura (B) no geomorfossítio Pico dos André.



Fonte: Lima, 2019.

Geomorfossítio Baixa do Cajueiro

O Geomorfossítio Baixa do Cajueiro localiza-se nas coordenadas 05° 23' 14.8" latitude sul e 041° 24' 29.1" longitude oeste a 444 metros de altitude. (Figura 17). Trata-se de um modelado com feições ruiniformes. Cabe salientar que para Ab'Saber (1977), a topografia ruiniforme é uma feição morfológica encontrada em arenitos diaclasados, com os mais variados aspectos geométricos e, de acordo com Guerra (1993), surgem por erosão diferencial das rochas sujeitas a ação das intempéries naturais.

Figura 17: Geomorfossítio Baixa do Cajueiro.



Fonte: condatur.wordpress.com

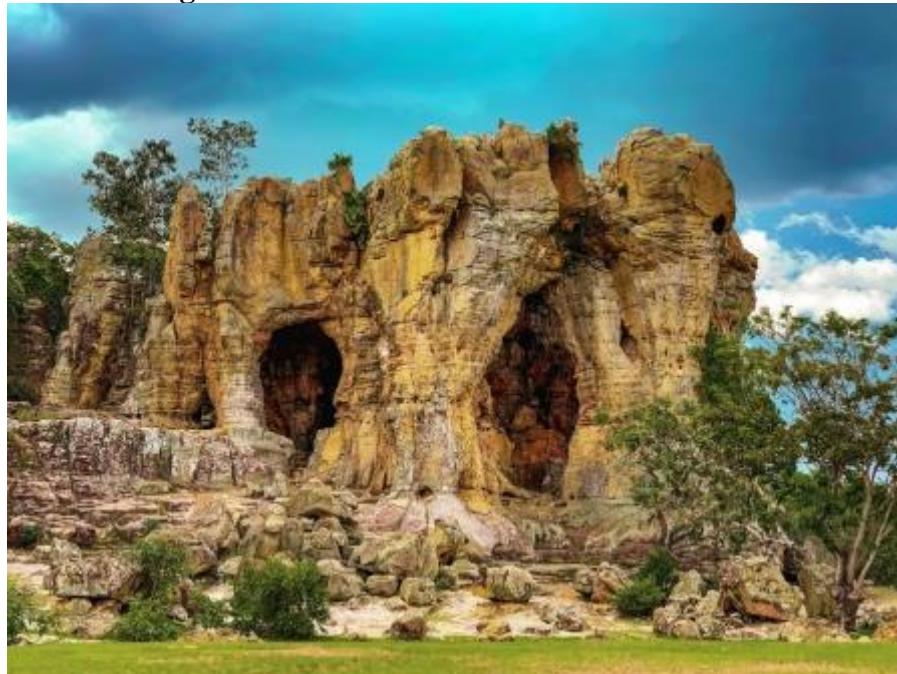
Geomorfossítio Pedra do Castelo

Trata-se de uma formação rochosa de aparência semelhante a um castelo medieval, cheio de câmaras e mistérios. A Pedra do Castelo fica a cerca de 20 quilômetros do núcleo

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

urbano da cidade, com acesso pela PI 115. Está entre as coordenadas 05° 12' 05.3" de latitude sul e 041° 41' 15.1" de longitude oeste, a 190 metros de altitude. Seu interior abriga câmaras e salões que já foram habitados por inúmeras pessoas desde muitos anos atrás, até um passado recente (Figura 18).

Figura 18: Geomorfossítio Pedra do Castelo.



Fonte: <https://www.conhecaopiaui.com/>

3.1 Quantificação do Valor Turístico

A Tabela 1 apresenta os valores atribuídos a cada parâmetro, a média obtida e a classificação quanto ao valor turístico para cada geomorfossítio identificado na área de estudo.

Tabela 1: Cálculo do Valor Turísticos (Vtur) e classificação dos geomorfossítios conforme Pereira (2010).

Geomorfossítios	Valores dos Parâmetros de cálculo do Valor Turístico (Vtur)					Média	Classificação do valor turístico adotado no estudo
	Aspecto estético	Acessibilidade	Infraestrutura	Existência de utilização em curso	Presença de mecanismo de controle de visitantes		
Pedra do Castelo	4	2	2	3	2	2,6	Alto
Pico dos André	4	1	2	1	0	1,6	Alto
Mini Cânion do Buritizinho	4	1	0	1	0	1,2	Alto

Castelo de Pedra das Barrocas	4	1	0	0	0	1,0	Baixo
Mini Cânion do Esporão	2	1	0	1	0	0,8	Baixo
Toca do Índio	2	1	0	1	0	0,8	Baixo
Ponte de Pedra	2	1	0	1	0	0,8	
Mirante da Varjota	2	2	0	0	0	0,8	Baixo
Baixa do Cajueiro	2	1	0	0	0	0,6	Baixo
Juntas Poligonais Boa Vista do Custódio	0	2	0	0	0	0,4	Baixo

Fonte: Organização dos autores, 2021.

Contata-se que 7 dos geomorfossítios tiveram seu valor turístico médio avaliados variando de 0,4 a 1,0, ou seja baixos valores, resultado da ausência de qualquer tipo de estrutura, aliada a dificuldade de acesso aos mesmos e ainda a incipiente taxa de visitação. Estes resultados são corroborados com os obtidos por Santos e Lima (2018), Lima et al. (2019) e Lima et al. (2020).

Já 3 geomorfossítios apresentaram valor turístico entre 1,2 e 2,6, considerados no estudo como de alto valor turístico, tendo sido eles: i) mini cânion do buritizinho com valor médio 1,2; ii) pico dos André com valor médio de 1,6 e iii) pedra do Castelo com valor médio de 2,6. Os maiores valores foram constatados na Pedra do Castelo (valor médio de 2,6) e no Pico dos André (1,6).

O alto valor obtido pelo geomorfossítio Pedra do Castelo resulta do fato de o mesmo constituir-se um Parque Municipal, criado com a finalidade de implantação e gestão para preservação e promoção do turismo na área, apresentando, portanto boas condições de acessibilidade, infraestrutura e utilização em curso, tendo em vista que o referido geomorfossítio é local de visitação de várias escolas, constituindo-se, portanto, um ponto de interesse geodidático consolidado no Estado.

CONCLUSÃO

O levantamento de 10 geomorfossítios na área de estudo evidencia o potencial da geodiversidade e do geopatrimônio, notadamente o geomorfológico na área de estudo.

O baixo valor turístico obtido em 7 dos 10 geomorfossítios inventariados justifica-se dada a ausência de qualquer tipo de estrutura, aliada a dificuldade de acesso aos mesmos e ainda a incipiente taxa de visitação.

Apenas 3 geomorfossítios apresentaram valor turístico alto a saber: Os maiores valores foram constatados na Pedra do Castelo (valor médio de 2,6) e no Pico dos André (1,6). O

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

alto valor obtido pelo sítio de geodiversidade Pedra do Castelo resulta do fato de o mesmo constituir-se um Parque Municipal, criado com a finalidade de implantação e gestão para preservação e promoção do turismo na área, apresentando, portanto boas condições de acessibilidade, infraestrutura e utilização em curso.

Recomenda-se a instalação de infraestrutura adequada que permita a visitação dos geomorfossítios de modo a inserí-los em um roteiro como pontos de interesse geodidático, posto suas singularidades. Estes pontos podem ser utilizados por condutores de turismo, pesquisadores, geoturistas e outros visitantes interessados em compreender melhor o local que estão visitando.

É fundamental a necessidade de conservação do geopatrimônio natural e particularmente da geodiversidade através da conservação ambiental da área de estudo. Considerando as dificuldades econômicas do município e o potencial dos geomorfossítios para a prática turística, recomenda-se o fomento ao turismo que pode ser uma importante alternativa de geração de renda para a comunidade local, pautadas em uma atividade econômica sustentável fomentando assim o desenvolvimento local do município de Castelo do Piauí.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Topografias ruíniformes no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 50, p. 1-14, 1977.
- AGUIAR, R.B.; GOMES, J.R.C. (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Castelo do Piauí. – Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.
- BARRETO, J. M. C. **Potencial geoturístico da região de Rio de Contas - Bahia - Brasil**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM** - Levantamento dos Recursos Naturais, Vol. 02, Folha SB. 23 / 24 - Teresina / Jaguaribe; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973.
- CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geodiversidade Brasil**: Escala 1:2.500.000. 2006. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil. Brasília/DF- Brasil. 68 p.

Cláudia Maria Sabóia de Aquino, Renê Pedro de Aquino, Jhony Gonçalves de Lima, Helena Vanessa Maria da Silva

GRAY, M. **Geodiversity**: Valuing and Conserving Abiotic Nature. England: John Wiley & Sons, Chichester, 2004.

GUERRA, Antonio Teixeira. **Dicionário geológico geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2^a edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.
JACOMINE, Paulo Klinger Tito. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos do Estado do Piauí. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1986.

LIMA, J. G. **Avaliação do patrimônio geológico/geomorfológico do município de Castelo do Piauí- PI**. (Trabalho de Conclusão de Curso não Publicado). Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, 2019.

LIMA, M. B.; SILVA, M. A.; SANTOS, F. de A. Geodiversidade e Geoconservação no setor sudeste do município de Piracuruca (PI). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, n. 1, p. 73-85, 25 jun. 2019.

LIMA, M.B.; SOUSA, M. J. C.; NASCIMENTO, J. K.C.; SANTOS, F.A. Geodiversidade, geossítios e geoconservação no povoado Saco Monte Belo, município de Piracuruca (PI). In: **Geoambiente On-Line**, volume, 36, pág. 104 a 121, 2020.

LOPES, Laryssa Sheydder de Oliveira. **Estudo metodológico de avaliação do patrimônio geomorfológico**: aplicação no litoral do estado do Piauí. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

NASCIMENTO, M. A. L., RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo**: trinômio importante para conservação do patrimônio geológico. Sociedade Brasileira de Geologia-SBE, 2008.

PANIZZA, M. Geomorphosites: concepts, methods and examples of geomorphological survey. **Chinese Sci. Bull.**, 2001, v. 46, p. 4-6.

_____, PIACENTE, S. Geomorphosites and geotourism. **Revista Geográfica Academica**, v. 2, n. 1, p. 5-9, 2008.

PEREIRA, A. R. **Património geomorfológico no litoral sudoeste de Portugal**. Finisterra, XXX, v. 59, n. 60, Lisboa, 1995.

PEREIRA, P. J. S. **Patrimônio geomorfológico**: conceptualização, avaliação e divulgação - aplicação ao Parque Nacional de Montesinho. Braga, 2006. Tese (Doutorado em Ciências – Geologia). Universidade do Minho, Braga, 2006.

PEREIRA, R.G.F. de A. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil)**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) - Geologia. Universidade do Minho. Portugal, 2010.

RODRIGUES, M. L.; FONSECA, A.. A valorização do geopatrimónio no desenvolvimento sustentável de áreas rurais. In: **COLÓQUIO IBERICO DE ESTUDOS RURAIS**, 7. 2008, Coimbra. **Anais...** Coimbra, Portugal, 2008.

VALOR TURÍSTICO DOS GEOMORFOSSÍTIOS DO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

ROJAS LÓPEZ, J. Los desafíos del estudio de la geodiversidad. **Revista Geográfica Venezolana**, v. 46, n. 1, p. 143-152, 2005.

SANTOS, F. A.; LIMA, M. B. Geodiversidade e Geoturismo no Noroeste do município de Piracuruca (Piauí). **Caderno de Geografia**, v.28, n.54, 2018.

SHARPLES, C. **Concepts and principles of geoconservation**. Published electronically on the Tasmanian Parks & Wildlife Service web site. 3. ed., set, 2002. 81 p. Disponível: <http://dipw.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf>. Acesso em: 16 maio. 2020.

VIEIRA, A.; CUNHA, L. Patrimônio geomorfológico: tentativa de sistematização. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 3., Puerto Vallarta, 2004. **Anais...** Puerto Vallarta, 2004.



GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ: POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ

**Geodiversity and geotourism in the municipality of Castelo do Piauí: Potential of water falls in
the medium course of the Poti river basin, Piauí**

Helena Vanessa Maria da Silva¹, Cláudia Maria Sabóia de Aquino²

^{1,*} Doutoranda em Geografia, Universidade Federal do Ceará; helenavanessa95@hotmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9086-2808>

² Doutora em Geografia, Universidade Federal do Piauí; cmsabolia@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3350-7452>

RESUMO: As quedas d'água são elementos fluviais da geodiversidade que podem ter valor patrimonial. Esses locais ao serem reconhecidos pela diversidade, beleza e excepcionalidades devem ser valorizados e ir ao encontro dos objetivos da prática do geoturismo, uma estratégia de geoconservação centrada no usufruto sustentável do geopatrimônio. Dessa forma, o estudo objetivou realizar inventário do potencial geoturístico de quedas d'água em trecho do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, situado no Nordeste do Estado do Piauí. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica pertinente ao tema, visitas de campo e trabalhos de gabinete. A pesquisa foi apoiada na ficha inventário adaptada de Oliveira (2015). Conclui-se que o uso dessas quedas d'água pelo geoturismo, além do lazer, pode proporcionar ao turista um entendimento de parte da história geológica e geomorfológica da região, e ainda da atuação de agentes erosivos no processo de esculturação da paisagem. Ressalta-se a necessidade de proceder ao planejamento e criar políticas públicas que regulamentem a atividade. Só assim será possível caminhar na direção de um turismo sustentável atingir um dos propósitos principais do geoturismo que é a geoconservação.

Palavras-chave: Geoconservação. Cachoeira. Geoturismo.

ABSTRACT: The waterfalls are fluvial elements of geodiversity that can have heritage value. These places, when recognized for their diversity, beauty and exceptional features, should be valued and meet the objectives of the practice of geotourism, a geoconservation strategy centered on the sustainable use of geopatrimony. Thus, the study aimed to carry out an inventory of the geotouristic potential of waterfalls in the middle course of the Poti River Hydrographic Basin, located in the Northeast of the State of Piauí. The methodology was based on literature review relevant to the topic, field visits and office work. The research was supported by the inventory form adapted from Oliveira (2015). It is concluded that the use of these waterfalls by geotourism, in addition to leisure, can provide tourists with an understanding of part of the geological and geomorphological history of the region, and also the role of erosive agents in the process of sculpting the landscape. It emphasizes the need to proceed with planning and create public policies that regulate the activity. Only then will it be possible to move towards sustainable tourism and achieve one of the main purposes of geotourism, which is geoconservation.

Keywords: Geoconservation. Waterfall. Geotourism.

1 Introdução

GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ: POTENCIALIDADES DE QUEDAS D’ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ

O Estado do Piauí apresenta inúmeras quedas d’água que possuem grande potencial ao serem reconhecidas pela diversidade e beleza, que podem ser amplamente utilizadas em atividades turísticas (lazer e recreação) e educativas, tanto pelas suas aptidões, como pelo baixo risco de degradação. Alimentadas tanto por cursos d’água perenes, como intermitentes essas cachoeiras devem ser valorizadas e ir ao encontro dos objetivos da prática do geoturismo, um segmento turístico, baseado na valorização dos elementos da natureza, particularmente os abióticos, negligenciados muitas vezes pelo ecoturismo (SILVA; AQUINO; AQUINO, 2021b; SILVA; AQUINO; AQUINO, 2021c).

As quedas d’água, em especial, as cachoeiras, além da grande beleza cênica, são locais onde é possível visualizar os tipos litológicos, permitindo a interpretação e o entendimento dos processos formadores não só da geologia como da geomorfologia, sendo excelentes atrativos geoturísticos. Esses ambientes podem proporcionar aos turistas não apenas o “desfrutar” e contemplar os lugares, mas compreender sua origem e evolução (BENTO, 2014; SILVA; AQUINO; AQUINO, 2020).

No cenário atual, o geoturismo compõe um trinômio de grande relevância para o desenvolvimento sustentável, juntamente com a geoconservação e a geodiversidade que potencializam estratégias, propostas e linhas de pesquisa com o objetivo de contribuir para a conservação do patrimônio abiótico como um todo (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014). Seus objetivos não são meramente contemplativos (recreação, lazer), é possível associar essa nova forma de turismo com a educação ambiental, apresentando também uma finalidade didática (aprendizado). O geoturismo estimula uma integração entre o turismo e a ciência (BENTO; RODRIGUES, 2009; SILVA; AQUINO; AQUINO, 2021a).

Diante da demanda por estudos acerca do geoturismo e temáticas afins e considerando a importância do conhecimento das paisagens para sua conservação, o presente estudo propôs-se a realizar inventário do potencial geoturístico de quedas d’água em trecho do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, situado no Nordeste do Estado do Piauí.

2 Geodiversidade, Geopatrimônio, Geoconservação, Geoturismo e Quedas d’água

Temática contemporânea e abrangente que pode ser discutida de forma transdisciplinar, os estudos e trabalhos práticos relacionados aos valores da natureza abiótica constituem elevada relevância, uma vez que a geodiversidade é o substrato essencial para o desenvolvimento e evolução de qualquer forma de vida.

Com um crescente número de obras escritas, ganhando destaque no cenário internacional e nacional, estudos relacionados à Geodiversidade, Geopatrimônio e temas afins vêm sendo amplamente discutidas e divulgadas no âmbito das Ciências da Terra (NASCIMENTO; RUCHKYS; MANTESSO-NETO, 2008; SILVA, 2020).

Englobando o conjunto de todos os elementos da natureza abiótica do planeta a geodiversidade integra a diversidade geológica (rochas, minerais e fósseis), geomorfológica (formas de relevo), hidrológico (água) e pedológico (solos), além dos processos que lhes originaram e lhes modelam de forma dinâmica (GRAY, 2013).

Uma vez compreendido o termo geodiversidade, ressalta-se que o geopatrimônio são todos os elementos que apresentam valor excepcional, englobando toda uma diversidade de categorias (patrimônio geológico, patrimônio geomorfológico, patrimônio mineralógico, patrimônio hidrológico, patrimônio pedológico, patrimônio espeleológico, e outros) (LOPES, 2017).

O termo geopatrimônio dentro do contexto amplo do patrimônio paisagístico pode ser considerado um conceito guarda-chuva que engloba como patrimônio todos os elementos abióticos da natureza dotados de algum tipo de valor (BROCX; SEMENIUK, 2019). Consiste nas áreas que melhor representam a geodiversidade de uma região.

No cenário atual, juntamente com a geodiversidade e geoconservação (medidas de conservação e preservação do patrimônio abiótico), o geoturismo compõe um trinômio de grande relevância para o desenvolvimento sustentável, potencializando estratégias, propostas e linhas de pesquisa com o objetivo de contribuir para a conservação do patrimônio abiótico como um todo (EVANGELISTA; TRAVASSOS, 2014).

É a partir da necessidade de se conservar e valorizar aspectos da geodiversidade, identificando e visitando áreas com atrativos geoturísticos que entra em respaldo não só o caráter de contemplação, mas também um caráter científico/didático (SILVA; OKA-FIORE, 2008).

Apoiando-se no reconhecimento de áreas com significativo valor (intrínseco, científico, didático, turístico, estético, econômico e cultural), que conferem especificidades ao local, o geoturismo é um segmento que possibilita aos turistas a compreensão e aquisição de conhecimentos da geodiversidade além da simples apreciação estética (ARAÚJO, 2005).

GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ: POTENCIALIDADES DE QUEDAS D’ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ

De maneira abrangente, quedas d’água são locais onde a água do rio cai, descolando-se da rocha para o leito, devido à existência de um degrau no seu perfil, representam rupturas de declive. As mesmas estão associadas a dois fatores principais: oscilação do nível de base e/ou aspectos litológicos ou tectônicos que afetam o perfil de equilíbrio, produzindo-as (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Diante disso, pode-se classificar as quedas d’água em cachoeira, catadupa, cascata, corredeira ou catarata, variedades de saltos e denominações que variam de acordo com as regiões. No dicionário Geológico-Geomorfológico cachoeira é definida como queda d’água presente no curso de um rio, e sua ocorrência pode se derivar de falhas, dobras, erosão diferencial e diques (GUERRA, 1993).

Assim as quedas d’água, em especial, as cachoeiras, além da grande beleza cênica, são locais onde é possível visualizar os tipos litológicos, permitindo a interpretação e o entendimento dos processos formadores não só da geologia como da geomorfologia, sendo excelentes atrativos geoturísticos. Esses ambientes podem proporcionar aos turistas não apenas o “desfrutar” e contemplar os lugares, mas compreender sua origem e evolução.

3 Metodologia

Para operacionalizar o estudo foi realizado inicialmente revisão bibliográfica referente à temática. Posteriormente, foram utilizados recursos dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG’s) para a elaboração dos mapas. Nesta fase foram utilizados os bancos de dados (*shapefiles*), arquivos vetoriais da área de estudo (geologia, geomorfologia, hidrografia, limites, rodovias, etc) disponíveis no *site* da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil (CPRM), endereço eletrônico (www.cprm.gov.br/), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), (www.ibge.gov.br/), no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), (www.inpe.br/), entre outros. Para tanto se fez uso do *software Qgis* (código aberto) versão 2.8.1.

A pesquisa contou ainda com trabalho e coleta de dados em campo. Nesse sentido, a visita à área de estudo foi realizada nos dias 27 de outubro de 2019 e 24 de novembro de 2020. Foi utilizado um receptor GPS (*Global Position System*) para coleta de coordenadas. Além disso, foi feita uma observação direta com registros fotográficos e preenchimento de ficha inventário adaptada de Oliveira (2015), a qual é considerada adequada às áreas de qualquer dimensão.

3.1 Área de estudo

Com uma área total de aproximadamente 52.270 km², a bacia hidrográfica do rio Poti localiza-se entre as coordenadas 4°06' e -6°56' de latitude e -40°00' e -42°50' de longitude. Com uma extensão total de aproximadamente 550 km, o rio Poti corresponde ao segundo maior afluente da margem direita do rio Parnaíba, sendo classificado como um rio Federal, pois percorre espaços de dois estados brasileiros, Piauí e Ceará (LIMA, 2020).

Conforme Lima (2020), o trecho do médio curso do rio Poti tem início na borda soerguida da Bacia Sedimentar do Parnaíba, onde forma um planalto do tipo *cuesta*. A área total desse trecho é de “aproximadamente 34.080 km², representando cerca de 65% do total da bacia, onde o rio Poti percorre uma extensão aproximada de 250 Km, excluindo-se o trecho de litígio Piauí/Ceará, que é de cerca de 20 Km” (LIMA, 2020, p. 35).

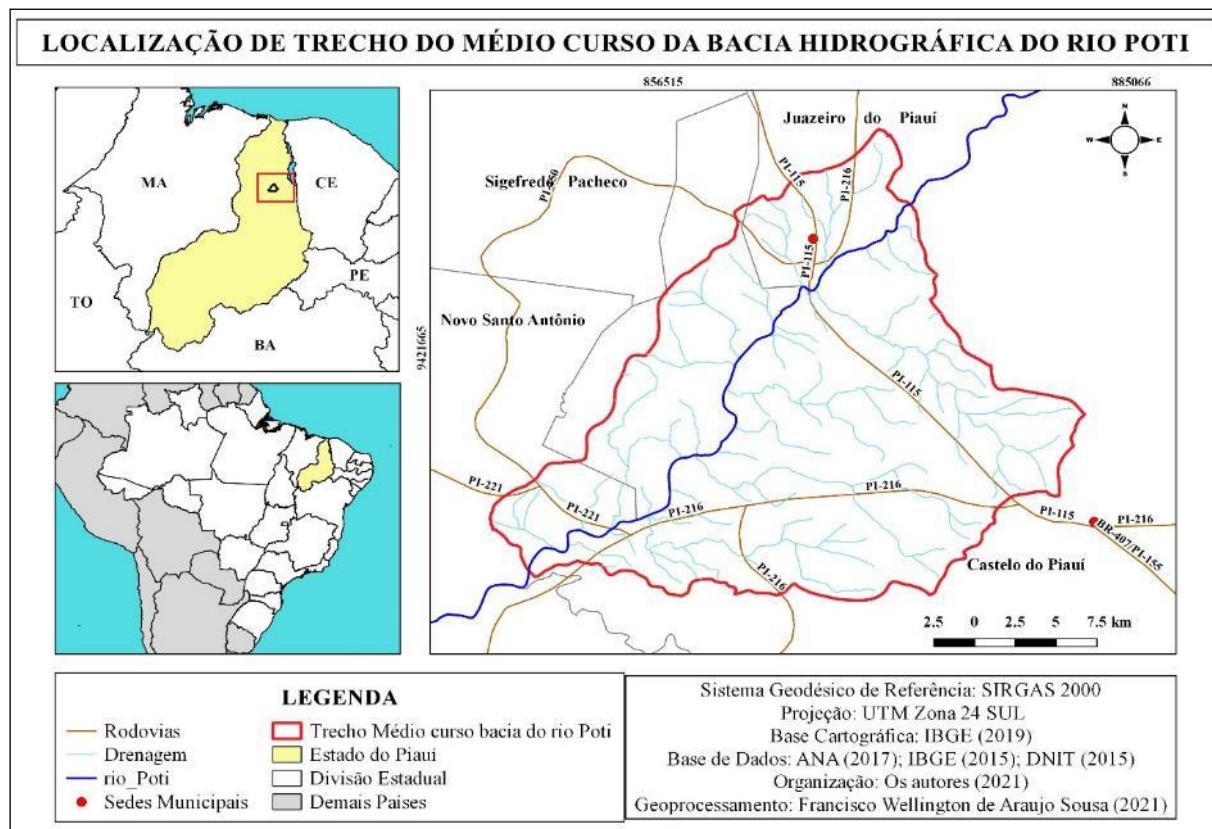
Situado entre os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, o trecho em estudo compreende uma área com 574 km², inserido no médio curso da bacia hidrográfica do rio Poti, região Centro-Norte do Estado do Piauí (Figura 1).

Nessa área existem pequenas bacias difusas de afluentes do rio Poti, sendo que os principais cursos de água correspondem o riacho da Palmeira, riacho do São Francisco e riacho da Sambaíba pelo lado esquerdo, enquanto o principal curso do lado direito compreende o riacho da Fazenda Velha.

Quanto às características geomorfológicas, destaca-se que a área em estudo apresenta altitudes que variam de 98 m a 325 m. Já a declividade se caracteriza por um relevo com classes que variam de plano a ondulado, com predomínio de uma topografia com declives planos.

Figura 1. Médio Curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, destaque para área de estudo (Município de Castelo do Piauí, Piauí, Brasil)

GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ: POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ



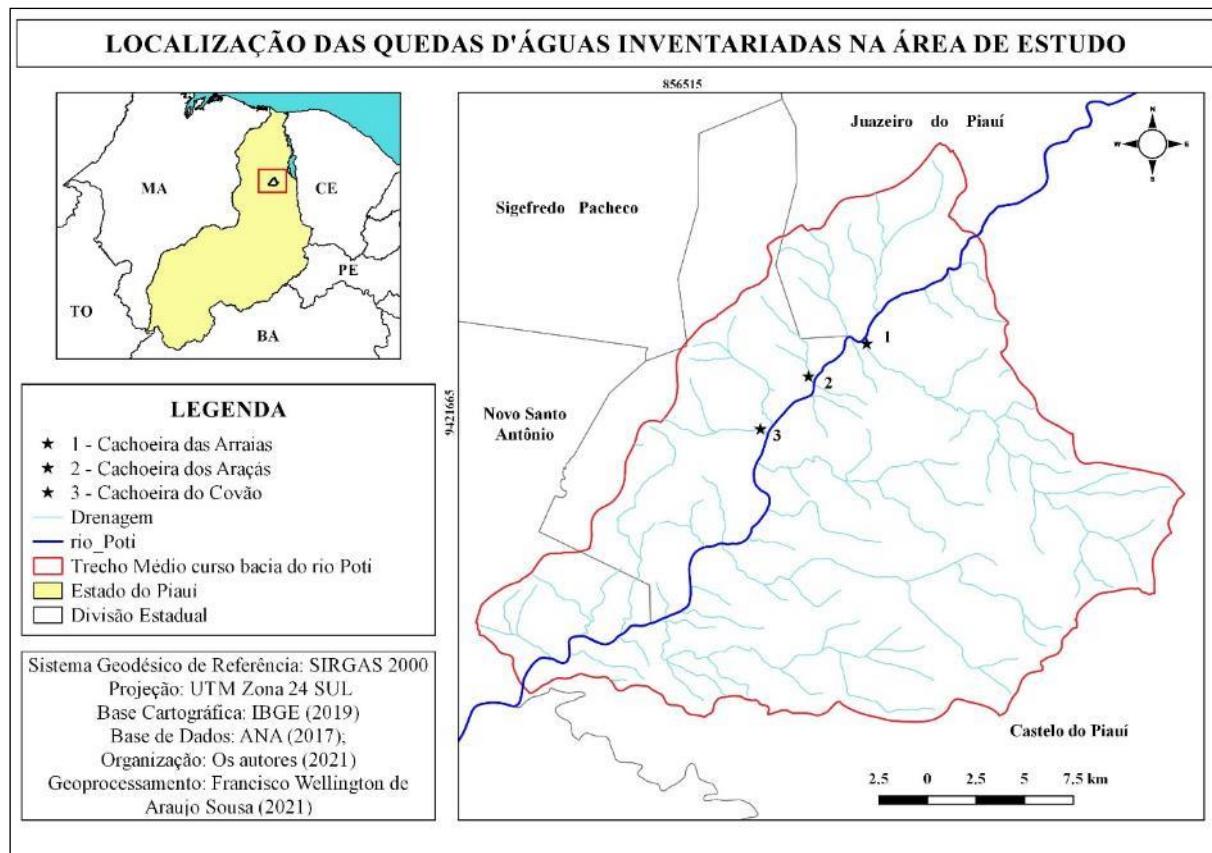
Fonte: Organizado pelos autores, 2021.

4 Resultados e Discussão

4.1 Quedas d'água inventariadas no município de Castelo do Piauí, médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, Piauí

A partir da inventariação foram identificadas as seguintes quedas d'água: Cachoeira das Arriaias, Cachoeira dos Araçás e Cachoeira do Covão. A figura 2, a seguir, apresenta a localização das referidas quedas d'água.

Figura 2. Quedas d'água inventariadas no município de Castelo do Piauí, médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, Piauí, Brasil



Fonte: Organizado pelos autores, 2021.

A seguir, será realizada a caracterização das quedas d'água, com base na ficha de inventário de Oliveira (2015).

4.1.1 Cachoeira das Arraias

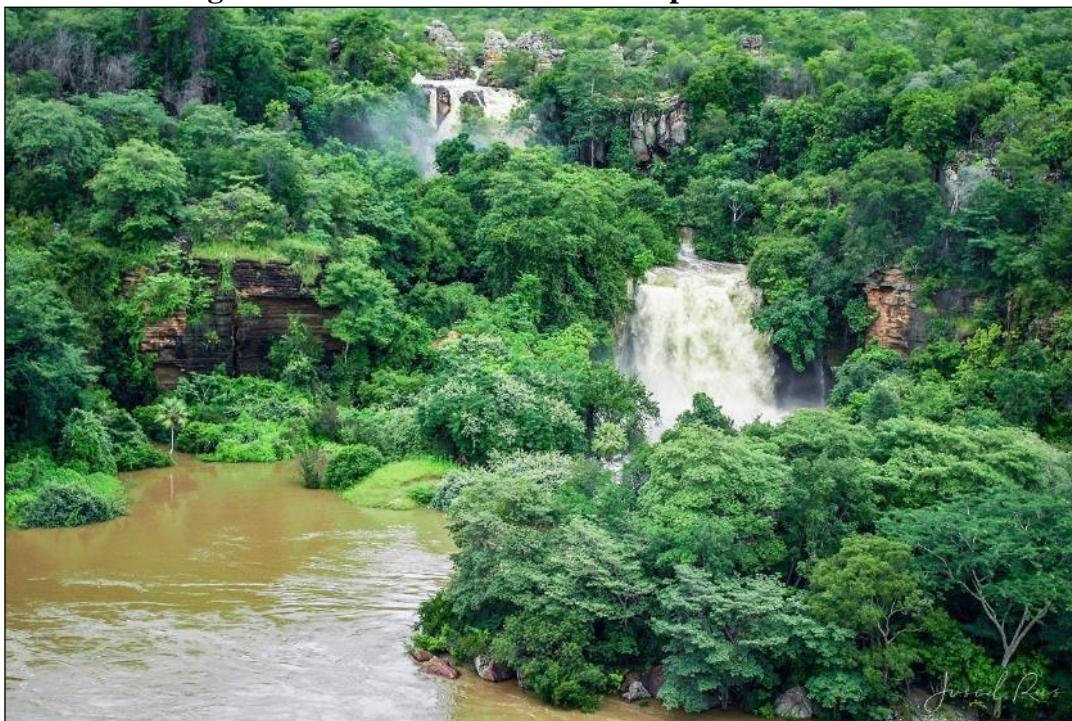
Uma das belezas do Parque Municipal Pedra do Castelo o Complexo Cachoeira das Arraias localiza-se na comunidade das Barrocas (Figura 3). Situado entre as coordenadas geográficas: 05°11'30.7" de latitude sul e 041°41'59.3" de longitude oeste, a uma altitude de 164 m, o referido local dista a menos de 5 km da sede municipal.

Apresentando duas quedas d'água majestosas de aproximadamente 20 m de altura, as águas da cachoeira são formadas pelo riacho da Palmeira, afluente do rio Poti. As volumosas águas formam um grande poço para banho que na época das chuvas (janeiro até abril), chega a ter 10 m de profundidade.

Com visibilidade moderada posto a presença de árvores e arbustos o local apresenta fácil acesso, feito por estrada carroçável que leva até menos de 50 metros do local. No entanto, para descer até a parte de baixo é necessário passar por uma trilha bem curta, bem íngreme usando uma escada de madeira que viabiliza o acesso.

**GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ:
POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ**

Figura 3. Cachoeira das Arraias no período de cheias



Fonte: Juscelino Reis, 2019.

Divulgado e usado como interesse paisagístico (lazer e turismo), o local apresenta pequena cascata que dura o ano inteiro, por isso, pode-se encontrar piscinas naturais que se formam na cachoeira e tem água em qualquer período do ano. O local apresenta assim valores didático, turístico, ecológico, estético e econômico elevado, os principais interesses geológico/geomorfológicos observados são: descontinuidades erosivas (erosão diferencial), fraturamentos/falhamentos, relevo ruiniforme e intemperismo físico, químico e biológico. Têm-se ainda o processo de corrosão com a formação de marmitas provocada pela erosão hídrica e também ação do intemperismo físico que pode ser evidenciado nas rochas pela presença de fraturas ocasionadas pela variação de temperatura e outras intempéries

No local ainda é possível visualizar um belo mirante em estrutura sedimentar com vista panorâmica para o vale o rio Poti que apresenta singularidades do ponto de vista geológico/geomorfológico que permitem interpretar processos geomorfológicos como a relação Topo/Vertente (Figura 4).

Figura 4. Mirante das Arraias, Complexo Cachoeira das Arraias



Fonte: Juscelino Reis, 2021.

Apresentando bom estado de conservação, com gestão pelo poder público e com proteção ainda que insuficiente, apresenta assim, poucas deteriorações, as suscetibilidades observadas são principalmente de ordem natural.

4.1.2 Cachoeira dos Araçás

O Complexo Cachoeira dos Araçás localiza-se nas coordenadas $05^{\circ}12'26.1''$ de latitude sul e $041^{\circ}43'35.8''$ de longitude oeste e possui 163 metros de altitude. Pertencente à propriedade privada, localidade Lagoa do Barro, o local está assentado sobre as rochas da Formação Cabeças (que reúne arenito, conglomerado e siltito) e encontra-se cercado. É possível observar corredeiras, quedas d'água em degraus onde a queda principal mede aproximadamente 5 metros de altura (Figura 5).

Figura 5. Complexo Cachoeira dos Araçás no período chuvoso (de cheias).

**GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ:
POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ**



Fonte: Juscelino Reis, 2021.

O referido local apresenta boa visibilidade e acessibilidade. Além dessa cachoeira no complexo, ainda pode ser encontrado outras importantes quedas d'água, como a Cachoeira dos Pilões e nascentes surgentes de água, como o Olho d'água matinhas (Figura 6A e 6B).

De fácil acessibilidade, visto que o mesmo é feito por estrada carroçável a todo terreno, o local dista a menos de 10 km da sede do município. Apresentando grande beleza cênica, os valores didático, ecológico, turístico, econômico e estético são elevados. Divulgado e usado como local de interesse paisagístico (lazer), as infinitas corredeiras revelam grande beleza cênica, permitindo possível discutir o trabalho da erosão diferencial, estratificação de rochas, fraturamento e falhamentos em rochas, etc. No local ainda pode-se encontrar piscinas naturais que se formam nas cachoeiras e tem água em qualquer período do ano.

Figura 6. Detalhes do Complexo Cachoeira dos Araçás. A - Cachoeira dos Pilões período de estiagem; B - Nascentes surgentes de água (Olho d'água matinhas)



Fonte: Pesquisa direta, 2020.

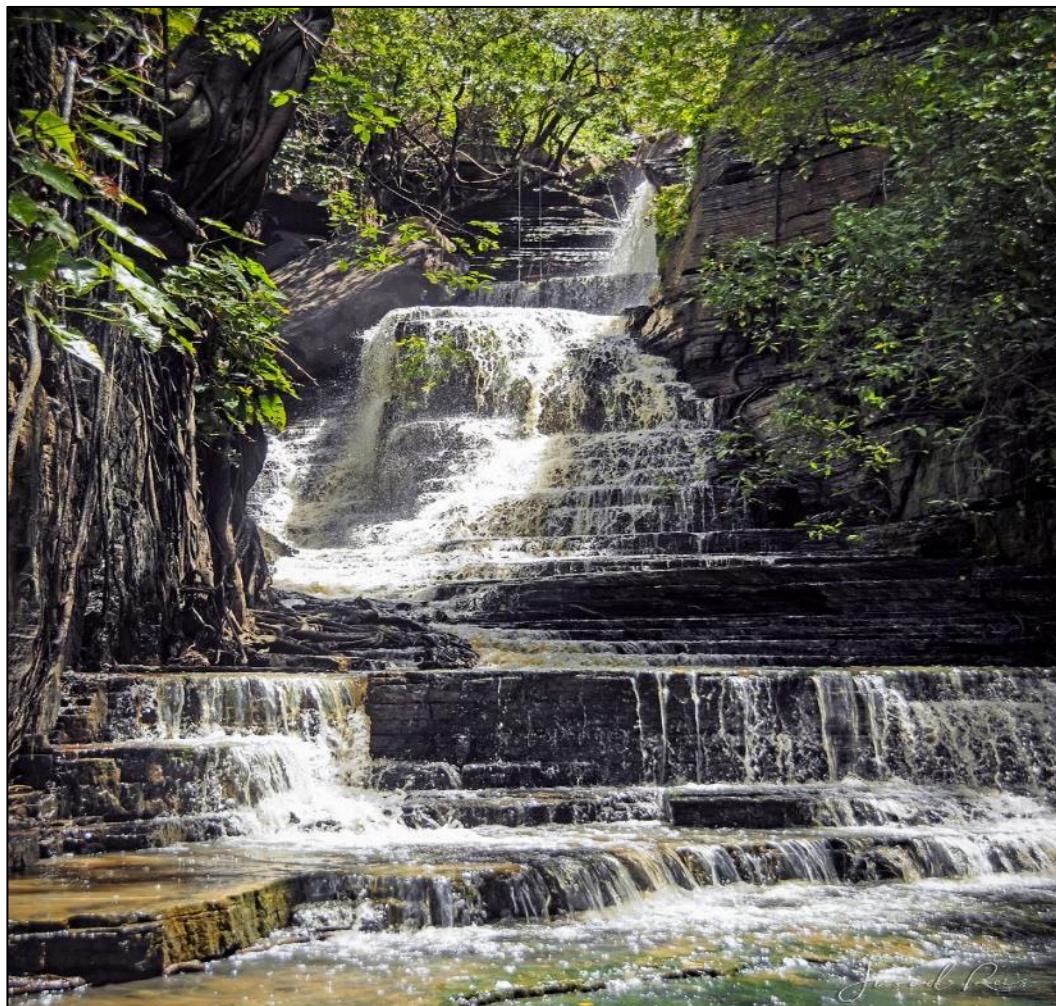
Com proteção insuficiente e sem gestão pelo poder público, apresentando bom estado de conservação e deterioração fraca, as suscetibilidades identificadas são de ordem natural.

4.1.3 Cachoeira do Covão

Pertencente ao Parque Municipal Pedra do Castelo a Cachoeira do Covão está localizada em propriedade privada, localidade Brasileira, povoado Boa Esperança, zona rural do município, de modo que é preciso a autorização do proprietário do terreno para visitação. O mesmo localiza-se entre as coordenadas geográficas: 05°13'54.2" de latitude sul e 041°44'55.2" de longitude oeste, a uma altitude de 198 metros (Figura 7).

Figura 7. Cachoeira do Covão no período de cheias

**GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ:
POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ**



Fonte: Juscelino Reis, 2019.

Banhada pelo riacho Caldeirão, afluente do rio Poti, o referido local está assentado em rochas da Formação Cabeças, Grupo Canindé, que reúne arenito, conglomerado e siltito. A referida cachoeira apresenta quedas d'água em degraus, parecendo uma escadaria com a água seguindo seu curso, apresenta sete quedas d'água, onde a principal é de aproximadamente 15 metros de altura.

Com boa acessibilidade e visibilidade moderada, o acesso é feito por estrada carroçável que leva até menos de 200 metros do local. Para descer até a parte de baixo é necessário passar por uma trilha bem curta e íngreme usando uma escada de madeira e cordas que viabilizam o acesso.

Agregando valor cultural a este local ainda é possível visualizar inúmeras gravuras rupestres, imagens gravadas em incisões na própria rocha, o que permite a discussão sobre povos primitivos, evidências históricas (arqueológicas) (Figura 8).

Figura 8. Gravuras rupestres na Cachoeira do Covão



Fonte: Pesquisa direta, 2020.

Com valores científico, didático, turístico, ecológico, cultural, estético e econômico elevado o referido local é divulgado e usado como local de interesse paisagístico (lazer e turismo), os principais interesses geológico/geomorfológicos observados que podem ser discutidos são: erosão diferencial, erosão hídrica/fluvial a processos de corrasão com formações de marmitas estratificação, fraturamento e falhamentos em rochas.

Embora não seja gerido pelo poder público, apresenta bom estado de conservação. Com proteção ainda que insuficiente as vulnerabilidades identificadas são principalmente de ordem natural.

Diante do inventário (identificação, caracterização e avaliação qualitativa) do potencial geoturístico de quedas d'água em trecho do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, mais precisamente no município de Castelo do Piauí, foi possível observar que essas feições geológico-geomorfológicas são relevantes por contar parte da história evolutiva da Terra, e ainda revelam espetacularidades de paisagens que podem ser aproveitadas para fins de desenvolvimento de atividades geoturística.

Vale ressaltar que as quedas d'água: Cachoeira das Arraias e Cachoeira do Covão já apresenta afluência turística, ainda que de forma incipiente o que se pode somar a uma grande possibilidade (e viabilidade) do fortalecimento para o geoturismo como uma alternativa de renda aos moradores do município de Castelo do Piauí. Ambas já fazem parte do Guia Cachoeiras do Piauí (https://issuu.com/jornalismocom/docs/guia_das_cachoeiras) (Figura 9), integrando roteiros ecoturísticos divulgados regionalmente.

GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ: POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ

Figura 9. Guia Cachoeiras do Piauí



Fonte: Secretaria de Estado do Turismo (SETUR, PIAUÍ).

Salienta-se que o potencial dessas quedas d'água é restrito aos meses de janeiro, fevereiro, março e abril uma vez que é neste período em que há disponibilidade hídrica para o referido município. Nos demais meses o potencial se restringe dada a inexistência de pluviometria no município. Dessa forma, a sazonalidade de precipitação tem um papel importante sobre a dinâmica das bacias hidrográficas e das próprias quedas d'água (morfodinâmica e morfogênese), uma vez que as cachoeiras evidenciadas se localizam em segmentos intermitentes de canais fluviais.

Nesse sentido o planejamento e o *marketing* turístico devem ser pensados levando em consideração a sazonalidade do potencial. Muitas quedas d'água, na época de seca (estiagem), não existem como tal, são apenas afloramentos de rochas. Esse fato, ao mesmo tempo em que pode ser um trunfo do ponto de vista educativo, deve ser alertado aos turistas, para não haver desapontamentos com a região.

5 Considerações Finais

A aplicação dos procedimentos metodológicos tornou possível identificar em trecho do médio curso da Bacia Hidrográfica do rio Poti, município de Castelo do Piauí, três quedas d'água, que, por suas características singulares (potencialidades geológicas e geomorfológicas), se apresentam como locais de valor geoturístico, merecedores de ações voltadas à geoconservação.

Vale destacar que os desafios para a implantação do geoturismo na área são variados, vão desde melhorias de acesso, sinalização e interpretação; participação mais efetiva do poder público com ações de envolvimento das comunidades locais; necessidade de oferta de serviços tais como transporte, hospedagem, alimentação dentre outros, planos de geoconservação e monitoramento desses locais e a falta de estudos da capacidade de suportes dos mesmos para visitação.

Portanto, não basta incentivar as atividades geoturísticas e de lazer, pois, por si só estas são incapazes de induzir um desenvolvimento econômico, social e cultural. Essas atividades devem ser integradas em políticas públicas amplas, que contemplem ações que permitam a conservação do meio ambiente em todos os seus aspectos. Dessa forma, deve haver um planejamento turístico adequado considerando todos os valores associados ao local, com vistas a subsidiar a definição de ações, como a criação de roteiros turísticos, esquemas de interpretação do patrimônio natural e projetos de educação ambiental. Recomenda-se o estabelecimento de parcerias entre o setor público e o privado no sentido de planejar a exploração racional deste recurso abiótico aqui inventariado e analisado.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, E. L. da S. **Geoturismo: conceptualização, implementação e exemplo de aplicação ao Vale do Rio Douro no Setor Porto-Pinhão**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Escola de Ciências. Universidade do Minho, Portugal, 2005.
BENTO, L. C. M.; RODRIGUES, S. C. Geomorfologia fluvial e geoturismo – o potencial turístico de quedas d'água do município de Indianópolis, Minas Gerais. Campinas, SeTur/SBE. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, 2(1), 2009.

BENTO, L. C. M. **Parque Estadual do Ibitipoca/MG: potencial geoturístico e proposta de leitura do seu geopatrimônio por meio da interpretação ambiental**. 2014. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

BROCX, M.; SEMENIUK, V. Geoheritage and Geoconservation-History, Definition, Scope and Scale. **Journal of the Royal Society of Western Australia**, v. 90, n. 2, p. 53-87, 2007.

**GEODIVERSIDADE E GEOTURISMO NO MUNICÍPIO DE CASTELO DO PIAUÍ:
POTENCIALIDADES DE QUEDAS D'ÁGUA DO MÉDIO CURSO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO POTI, PIAUÍ**

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

EVANGELISTA, V. K.; TRAVASSOS, L. E. P. **Patrimônio Geomorfológico do Parque Estadual do Sumidouro**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2014.

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. 2^a Edição. Londres, John Wiley & Sons, 2013.

LIMA, I. M. M. F. Bacia hidrográfica do rio Poti: ambientes e paisagens de transição. In: LIMA, I. M. M. F.; ALBUQUERQUE, E. L. S. (org.). **Rio Poti: caminhos de suas águas**. Teresina: EDUFPI, 2020, p. 15-63.

LOPES, Laryssa Sheydder de Oliveira. **Estudo metodológico de avaliação do patrimônio geomorfológico: aplicação no litoral do estado do Piauí**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

NASCIMENTO, M. A. L., RUCHKYS, U. A.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo**: trinômio importante para conservação do patrimônio geológico. Sociedade Brasileira de Geologia-SBE, 2008.

OLIVEIRA, P. C. A. **Avaliação do patrimônio geomorfológico potencial dos municípios de Coromandel e Vazante, MG**. Uberlândia, 2015. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DO TURISMO (SETUR, PIAUÍ). **Guia Cachoeiras do Piauí**. Disponível em: https://issuu.com/journalismoccom/docs/guia_das_cachoeiras. Acesso: 20 de Out. 2021.

SILVA, J. M. F. da; OKA-FIORI, C. 2008. Geomorfologia e turismo: potencial da Escarpa da Esperança, Centro-Sul do Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7, 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

SILVA, H. V. M.; AQUINO, C. M. S.; AQUINO, R. P. Potencial geoturístico das quedas d'água do município de Novo Santo Antônio - Piauí. In: FALCÃO SOBRINHO, José; NASCIMENTO, Flávio Rodrigues; CLAUDINOSALES, Vanda de. (Org.). **Geodiversidade: abordagens teóricas e práticas**. 1ed. Sobral/Ceará: Sertão Cult, 2020, v. 6, p. 125-145.

SILVA, H. V. M. da. **Geodiversidade e geopatrimônio dos municípios de Juazeiro do Piauí, Novo Santo Antônio, São João da Serra e Sigefredo Pacheco, Piauí**. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas e Letras. Universidade Federal do Piauí. Piauí, Teresina, 2020.

SILVA, H. V. M.; AQUINO, C. M. S.; AQUINO, R. P. Geoturismo como fonte alternativa de renda: uma estratégia geoconservacionista para o geomorfossítio Cachoeira do Rosário, Novo Santo Antônio, Piauí – Brasil. In: VI Workshop GeoHereditas - Geoconservação no contexto socioambiental. **Anais...** Instituto de Geociências da USP, 2021a.

Helena Vanessa Maria da Silva, Cláudia Maria Sabóia de Aquino

SILVA, H. V. M.; AQUINO, C. M. S.; AQUINO, R. P. Potencialidades geológicas e geomorfológicas para o geoturismo das quedas d'água do município de São João da Serra, Piauí, Brasil. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.15, p. 1-24, e2117135, 2021b.

SILVA, H. V. M.; AQUINO, C. M. S.; AQUINO, R. P de. Geodiversidade e o valor turístico das quedas d'água do município de Juazeiro do Piauí, PI, Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 10, n. 1, p. 97 – 117, 2021c.



CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO Parnaíba

Rio Poti canyon: A scenario of the planetary geological history of the Parnaíba Basin
José Sidiney Barros¹

¹ Geólogo/Professor Adjunto da Universidade Estadual do Piauí/Pesquisador em Geociências do Serviço Geológico do Brasil-CPRM;josesidney@uespi.ctu.br; sidiney.barros@cprm.gov.br; ORCID: 0000-0002-1816-6813

RESUMO: O limite estadual Piauí-Ceará é marcado por serras e cortado por falha geológica moldando paisagens cênicas impressionantes em área do bioma Caatinga. O rio Poti, capturado por falhas, gera formas geológicas exuberantes, expondo e esculpindo rochas do Grupo Canindé, Formação Cabeças predominantemente, e das formações Tianguá e Ipu do Grupo Serra Grande. Com nascente nas serras cearenses, adentra o Piauí segundo falha geológica que muda seu curso na altura do município de Buriti dos Montes. Com extensão de 538 km foi utilizado como corredor migratório entre as planícies do Piauí e Maranhão e o semi-árido do Ceará, Pernambuco e Bahia comprovado pelas gravuras rupestres por picoteamento em rochas do seu leito, constituindo um dos mais importantes complexos de gravuras rupestres das Américas. O cânion nasce na Serra dos Cariris, município de Quiterianópolis-CE, corta o *front* da Serra da Ibiapaba e desagua no rio Parnaíba, em Teresina. Litologias sedimentares mais resistentes condicionaram o aprofundamento do seu talvegue, gerando um cânion com 360 m de altura na área de contato entre o cristalino e rochas sedimentares e 60 m nestas últimas. O forte controle estrutural da drenagem e do cânion reflete a influência dos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês.

Palavras-chave: Cânion. Rio Poti. Transbrasiliano.

ABSTRACT: The Piauí-Ceará state boundary is marked by mountain ranges, cut by a geological fault shaping impressive scenic landscapes in an area of the Caatinga biome. The Poti River, captured by faults, generates exuberant geological forms, exposing and sculpting rocks from the Canindé Group, predominantly Cabeças Formation, and from the Tianguá and Ipu formations of the Serra Grande Group. With a source in the Ceará mountains, it enters Piauí according to a geological fault that changes its course at the height of the municipality of Buriti dos Montes. With a length of 538 km, it was used as a migratory corridor between the plains of Piauí and Maranhão and the semi-arid region of Ceará, Pernambuco and Bahia, as evidenced by rock carvings by perforating rocks on its bed, constituting one of the most important complex of rock engravings in the Americas. The canyon starts at Serra dos Cariris, municipality of Quiterianópolis-CE, crosses the front of Serra da Ibiapaba and flows into the Parnaíba River, in Teresina. More resistant sedimentary lithologies conditioned the deepening of its thalweg, generating a 360 m high canyon in the contact area between the crystalline and sedimentary rocks and 60 m in the latter. The strong structural control of the drainage and the canyon reflects the influence of the Transbrasiliano and Picos-Santa Inês lineaments.

Keywords: Canyon. Poti River. Transbrazilian.

1 Introdução

Ao longo da história geológica do nosso planeta os rios têm sido entendidos como um escultor natural da paisagem através das ações de erosão, transporte e sedimentação, mas também fonte de informações sobre os ambientes pretéritos por funcionar como forte atrativo para a fixação do homem na terra.

O cânion do rio Poti é uma das feições naturais do Estado do Piauí, situado mais characteristicamente nos municípios de Buriti dos Montes, Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, assim denominado desde 1720, nasceu Itaim-Açu e ao longo do seu leito foram instaladas fazendas doadas como sesmarias pela coroa portuguesa no século XVIII. A nascente principal e mais longínqua que vai formar o rio Poti está localizada na Serra dos Cariris Novos, na Fazenda Jatobá, na localidade Olho-d'água da Gameleira, no município de Quiterianópolis, Ceará, a uma altitude próxima de 800 m na área de divisa entre os estados do Piauí e Ceará (Figura 1). Percorre mais de 80 km em terras cearenses na direção norte até ser capturado por um sistema de falhas do lineamento Transbrasiliano, aprofundando seu leito como resultado da ação mecânica das águas sobre sedimentos da Formação Cabeças, predominantemente. Da nascente à foz o percurso é de cerca de 538 km, sendo 180 km na forma de *canyon* com paredões atingindo valores de 60 m de altura em alguns trechos.

Figura 1. Nascente do Rio Poti: Serra dos Cariris (a); Olho d'Água da Gameleira - nascente principal do rio Poti - (b).



FOTO: Acervo particular do autor.

No seu percurso, o rio corta o sistema de serras da Ibiapaba e no trecho entre a Cachoeira da Lembrada e o Cânion da Pedalta estabelece o Cânion, embora o seu leito apresente-se escarpado também por outros trechos até sua foz em Teresina (Figura 2).

Figura 2. Trechos do cânion do rio Poti: Cachoeira da Lembrada e início do cânion (a, b); cânion no município de Juazeiro do Piauí (c); trecho navegável nas proximidades da localidade de Conceição dos Marreiros (d).

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA



FOTO: Acervo particular do autor.

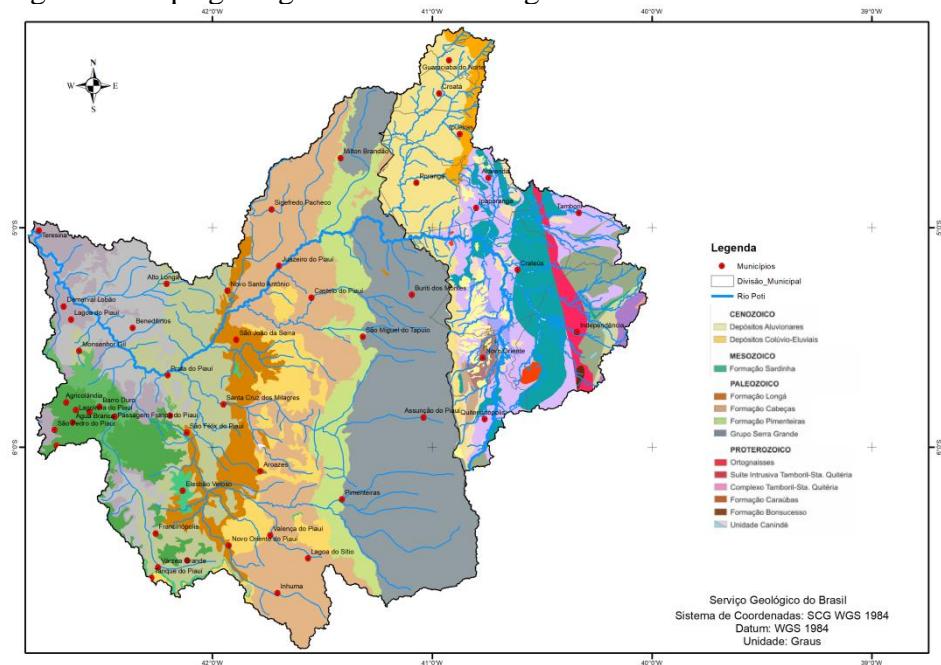
1.1 Localização da área

A geologia da área de estudo está inserida nas faixas supracrustais proterozoicas e complexos gnáissicos-migmatíticos paleoproterozoicos ou arqueanos da Província Borborema (Figura 4), intrudidos por granitos e deformados no neoproterozoico durante o Ciclo Orogenético Brasiliano (CASTRO *et al.*, 1998) com forte atuação desde o Proterozoico Superior ao Cambro-Ordoviciano (CARNEIRO *et al.*, 1989). Este Ciclo Orogenético está associado à aglutinação do megacontinente Panotia, episódio responsável pela colagem, no centro do supercontinente Gondwana e parte sul do Panotia, entre Brasil e África (BRITO NEVES, 1999). Ao estruturar esses domínios geológicos, o Ciclo Orogenético Brasiliano também atua na formação de uma cadeia de montanhas tipo *himalaiana* entre o Brasil e a África, no intervalo de tempo compreendido entre 500 e 400 milhões de anos atrás (CABY *et al.*, 1995). Para estes autores, ações erosivas e colapsos tectônicos atuaram por cerca de 100 milhões de anos na cadeia Brasiliana gerando condições para a formação e evolução da bacia sedimentar paleozoica do Parnaíba.

A plataforma sul-americana esteve submetida a um longo período de calmaria tectônica como consequência da sua localização na porção sul do megacontinente Gondwana que nesse período não se fragmentou (BRITO NEVES, 1999). Essa calmaria foi rompida no Mesozoico associada à fissão do megacontinente Pangea. Durante a divisão do Pangea, a América do Sul individualizou-se em relação à África, o que no Nordeste do Brasil aconteceu por volta de 100 milhões de anos atrás (MATOS, 2000). A ação erosiva tem sido

responsável, após o soerguimento no Cretáceo, pelas alterações e evolução do relevo representado pela *cuesta* no *glint* do front norte da Serra da Ibiapaba, pela depressão sertaneja e pelos maciços cristalinos residuais (PEULVAST e CLAUDINO-SALES, 2004; CLAUDINO SALES, 2002).

Figura 4. Mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio Poti.



FONTE: CPRM (2003, 2006, 2010 e 2014).

Pode-se, com isso, estabelecer uma sequência evolutiva do relevo desta porção este da bacia sedimentar paleozoica do Parnaíba, segundo etapas seguintes: orogênese Brasiliiana; erosão e colapso da cadeia brasileira; separação dos continentes sul-americano e africano; ação erosiva regional aplainando litologias mais frágeis que hoje respondem pela depressão Sertaneja e ressaltando as mais resistentes que configuram os atuais maciços cristalinos residuais (CLAUDINO-SALES, 2002).

2 METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho buscou-se subsídios no levantamento de dados, informações, mapeamentos anteriormente publicados e pesquisa de campo do autor e das que constam da literatura sobre a região. Para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Poti foi confeccionado mapa temático com uso de imagens de satélites dos Estados do Piauí e Ceará, com validação e suporte de trabalhos de campo. Os mapas foram organizados a partir de técnicas de geoprocessamento, com o *ArcGis* e *Global Mapper*, trabalhando imagens *Google Earth Pro* e SRTM/Topodata (2010). Foram utilizadas *shapes* de mapas

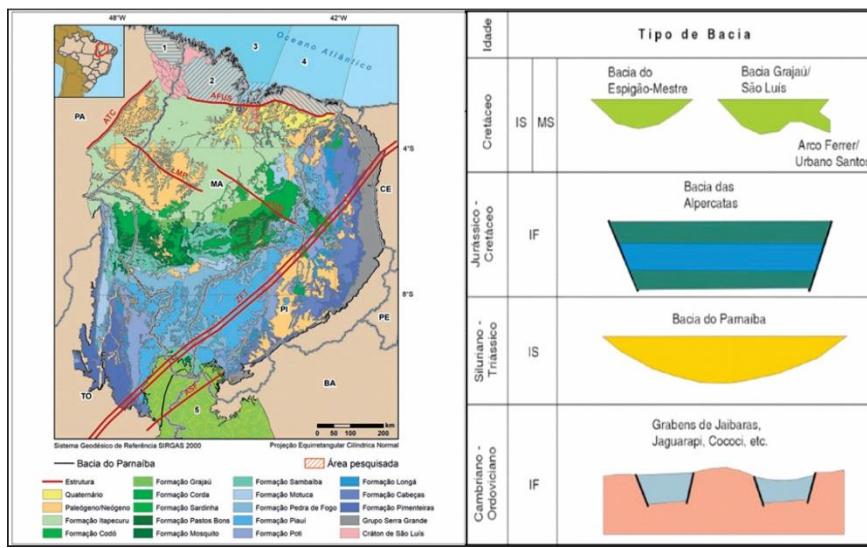
CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

disponibilizadas em sites do ANA (2017), IBGE (2015; 2018) e CPRM (2003), na escala de 1:250.000, além das Cartas do DSG na escala de 1:100.000 (1973).

2.1 Bacia do Parnaíba e a influência tectônica do Lineamento Transbrasiliano-LTB.

Com uma área de 600.000 km², a Província Parnaíba ou Província Sedimentar do Meio-norte, tem seus limites definidos pelo Arco Ferrer-Urbano Santos a norte, pela Falha de Tauá a leste, pelo Lineamento Senador Pompeu a sudeste, pelo Lineamento Tocantins–Araguaia a oeste e pelo Arco Tocantins a noroeste (GÓES *et al.*, 1990; GÓES, 1995; BAHIA *et al.*, 2003). Para estes autores, o desenvolvimento da Província Parnaíba é entendido como policíclico, levando-os à subdivisão da mesma em quatro sub-bacias com história geológica e tectônica distintas, a saber: Bacia do Parnaíba, Bacia das Alpercatas, Bacia do Grajaú e Bacia do Espigão-Mestre (Figura 5).

Figura 5. Esquerda - Mapa geológico com as bacias que compõem a Província Parnaíba, os limites com o embasamento e estruturas (Zona de Falha Transbrasiliana-ZFT, altos do Tocantins-ATC, Ferrer-Urbano Santos-AFUS, São Francisco-ASF) e os lineamentos Marajó-Parnaíba (LMP) e Picos-Santa Inês (LPSI). Direita - Bacias e suas classificações.



Fontes: Esquerda – Corrêa-Martins *et al.*, 2018. Direita - Pedreira da Silva *et al.*, 2003

A origem dessa bacia está associada à fissão do supercontinente Panotia (BRITO NEVES, 1999) formado no Neoproterozoico (880-550 Ma) da fusão do Laurásia e

Gondwana, como um depósito sedimentar intracratônico suavemente inclinado para o centro da bacia onde as camadas mais jovens estão posicionadas no centro e mais antigas aflorando nas suas bordas (BAHIA *et al.*, 2003). Essa colagem do Panotia recebeu o nome de Orogênese Brasiliiana na América do Sul (HEILBRON *et al.*, 1995). Esses depósitos sedimentares constituem o Grupo Serra Grande, Grupo Canindé, Grupo Balsas e Formação Barreiras (BAHIA *et al.*, 2003).

O processo de fissão do supercontinente Panotia ocorrido no Paleozoico inferior (400-352 MA) foi responsável pela formação de fossas tectônicas ou *rifts* (COLOMBO, 2003), contribuindo para o aparecimento, na área entre o Ceará e o cráton São Luís, de grábens sobre os quais instalou-se a sinéclise ou Bacia do Parnaíba segundo uma direção norte-sul (NEVES, 1999; BAHIA *et al.*, 2003; CLAUDINO-SALES & PEULVAST, 2007). Na continuidade do ciclo de Wilson e por volta de 240 MA no final do Paleozoico tem-se a aglutinação do supercontinente Pangea (NEVES, 1999) que se fragmenta no Mesozoico em um momento importante para a Província Parnaíba quando começa a abertura do Oceano Atlântico, a individualização da América do Sul como continente e a formação da margem continental do Nordeste Brasileiro aqui já entre 120 e 100 Ma (CLAUDINO-SALES & PEULVAST, 2007). A esta primeira etapa de fragmentação do Pangea, por volta de 120 Ma, corresponde o forte soerguimento do Grupo Serra Grande (CLAUDINO-SALES, 2002). Esse soerguimento possibilitou que a erosão atuasse de forma significativa sobre o escudo cristalino soerguido onde rochas fraturadas com baixa resistência foram alteradas e transportadas e aquelas mais resistentes da bacia ficassem em cotas mais elevadas e fortemente ressaltadas na paisagem aqui representadas pelas litologias do Grupo Serra Grande que recobrem, portanto, os terrenos antigos que foram dobrados (CABY *et al.*, 1995). Para Claudino-Sales (2002) essa é a explicação para o surgimento do relevo cuestiforme do Grupo Serra Grande, ou *glint da Ibiapaba*, que se caracteriza por presença de rochas cristalinas na vertente e sopé submetidas a processo erosivo intenso caracterizando o que Ab'Saber (1969) denomina de inversão de relevo.

Segundo Cunha (1986) duas estruturas geradas no ciclo orogenético brasileiro, o Lineamento Picos-Santa Inês e Lineamento Transbrasiliano, estão diretamente relacionadas à geração de grábens pré-silurianos sobre os quais foi instalada a Província Parnaíba. O Lineamento Transbrasiliano é definido como uma megaestrutura de forte influência na formação da Plataforma Brasileira e que gerou, ao longo dos 5.000 km de extensão, dos quais 2.700 km em terrenos do Brasil, diferentes tipos de falhas e corpos ígneos para além

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

de suturar duas massas continentais, o Cráton Amazônico, a noroeste, e o Cráton do São Francisco, não permitindo que essa última área se individualizasse como novo continente (CORDANI & SATO, 1999). Esta estrutura divide o território nacional em duas grandes regiões: da Amazônia, parte do Centro-Oeste e trechos do Ceará e Piauí; e outra, envolvendo as regiões Sul, Sudeste e a área restante do Nordeste (CACAMA et al., 2015). De um período em que a América do Sul e África ainda estavam unidas como parte do supercontinente Gondwana, essa cicatriz começa na Argentina, passando pelo Paraguai e atinge terrenos brasileiro pelo estado do Mato Grosso até atingir o litoral do estado do Ceará (SCHOBENHAUS et al., 1975) continuando no continente africano como lineamento Kandi cruzando o deserto do Saara por 4 mil quilômetros.

O Lineamento Picos-Santa Inês representa uma extensa e importante faixa cataclasada sob a cobertura fanerozoica, e que se foi instalado de modo transversal Lineamento Transbrasiliano (CUNHA, 1986). Segundo dados de Schobbenhaus Filho & Campos (1984) os lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês formaram faixas tectônicas instáveis, ao longo de suas reativações tectono-magmáticas, correspondendo aos eventos que deram inicio ao processo de subsidência e reativações da Bacia do Parnaíba durante o Mesozoico.

2.2 Características morfoestruturais e geoambientais: O Planalto da Ibiapaba

O Planalto da Ibiapaba representa uma megaforma de relevo onde a Bacia do Parnaíba faz contato com o embasamento cristalino e tem orientação norte-sul e, no estado do Ceará, a sua extensão atinge cerca de 390 km onde as diferentes altitudes oscilam entre valores de 500 m, na sua porção sul, até 900 m, na porção norte (CLAUDINO-SALES, 2018). Como relevo dissimétrico tem sua vertente voltada para o Ceará e seu reverso com caimento suave para o Piauí funcionando como marco divisor geológico entre esses dois estados. Sequências sedimentares de idade siluriana (Grupo Serra Grande), devoniana (Grupo Canindé), carbonífero-triássica (Grupo Balsas) para além de jurássicas, cretáceas e cenozoicas representam os grupos litológicos responsáveis pelo preenchimento desta sinéclise (ver figuras 4 e 5) suavemente inclinados para o centro desta Província (THOMAZ FILHO et al., 2000; BAHIA et al., 2003).

Uma zona de cisalhamento presente na área como resposta às significativas mudanças de estresse litosférico, principalmente durante o final do período Cambriano e

início do Ordoviciano (480-440 Ma), é o Lineamento Transbrasiliano (SCHOBENHAUS, 1975). Um período de calmaria inicia-se entre o Ordoviciano e Siluriano quando o processo de rifteamento cessa ao longo deste lineamento (OLIVEIRA; MOHRIAK, 2003), seguindo-se um período de extenso aplainamento no Siluriano (DANNI, 1972). A inatividade desta zona de rift é responsável por uma fase de lenta subsidência na bacia do Parnaíba ao longo de aproximadamente 355 Ma. Segundo Castro *et al.*, (2016) e Góes e Feijó (1994) os processos de aplainamento e subsidência lenta possibilitaram que o mar penetrasse na área da bacia depositando os sedimentos silurianos, sedimentos esses que têm como área fonte provável a cadeia montanhosa brasileira (CASTRO *et al.*, 2016; FERREIRA, 2013; ALVES, 2012). No final do período Carbonífero a bacia passa por uma fase de estabilização até o rompimento cretáceo de Gondwana/Pangea, no Neocomiano-Albiano (120-100 Ma) (DALY *et al.*, 2014; CASTRO *et al.*, 2014; MATOS, 2000).

2.3 O RIO POTI: A Bacia e características morfoestruturais e geoambientais

O rio Poti nasce na Serra dos Cariris Novos, a uma cota altimétrica próxima de 800 m na divisa dos Estados do Piauí e Ceará (ver Figura 6) chamado de Itaim-Açu, mas a partir do ano de 1760, em uma carta do historiador Gallucio, já constava a atual denominação. O nome Poti (camarão em Tupi), em substituição a Itaim-Açu foi atribuído ao Domingos Jorge Velho, por volta de 1662. Com uma bacia hidrográfica de 52.270 km² de área ocupa terrenos de parte dos estados do Piauí e do Ceará com regime intermitente desde suas nascentes até a cidade de Prata do Piauí. No seu trajeto até a Província Parnaíba percorre litologias pré-cambrianas no território cearense, dissecando a parte ocidental da borda da Província Parnaíba, localizado na divisa entre os estados do Ceará e Piauí, até desaguar no rio Parnaíba, na cidade de Teresina. (RADAMBRASIL, 1973).

2.4 O Cânion do Rio Poti: Morfologia do canal

Os canais fluviais, segundo Gregory e Walling (1973), funcionam como importantes agentes de esculturação do modelado terrestre e têm, na erosão dos respectivos leitos e no transporte e distribuição dos sedimentos, mecanismos capazes de afetar toda a bacia hidrográfica para além de fornecer elementos importantes para a interpretação dos

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO Parnaíba

paleoambientes (CHRISTOFFOLETI, 1981). O forte controle estrutural e encaixe do rio Poti nas estruturas geológicas do substrato sobre o qual esculpiu seu leito e aprofundou o seu talvegue faz com que o seu traçado no terreno assuma direções quase que ortogonais ou fortemente angulosas quando da captura pelas estruturas de direção NW-SE do Lineamento Picos-Santa Inês ou de direção NE-SW do Lineamento Transbrasiliano (Figura 6).

Figura 6. Serra da Ibiapaba, na entrada para o cânion do rio Poti (a). Panorama do leito do rio Poti, vista do morro do Alto Branco, na localidade Oiticica, fronteira PI/CE com evidente controle estrutural e encaixe do rio Poti nas estruturas geológicas do substrato (b).



FOTO: Acervo particular do autor

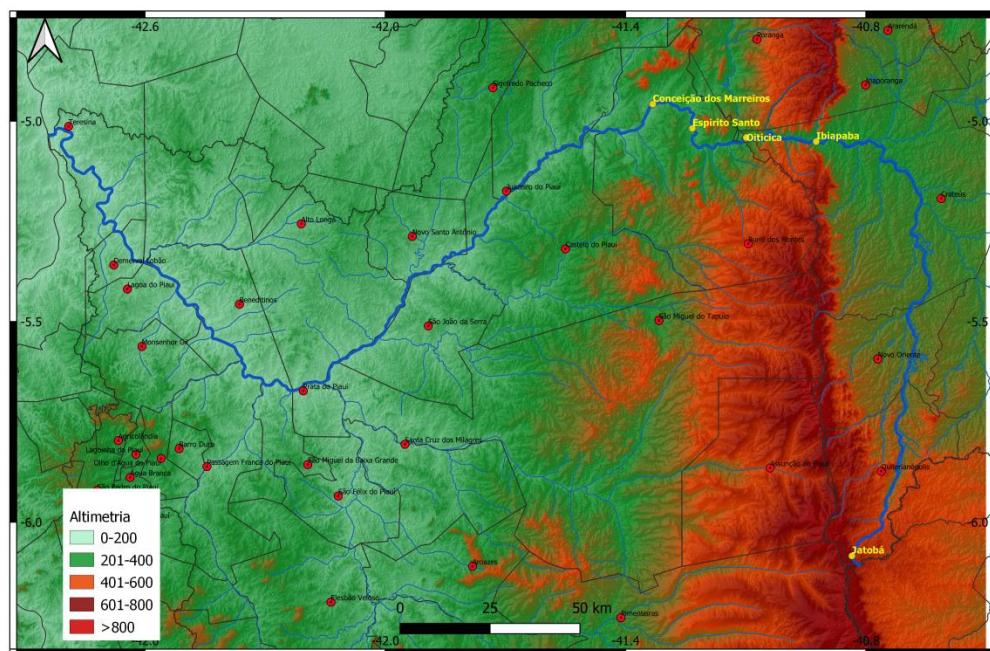
A bacia do rio Poti, para além da importância econômica, tem um valor histórico no povoamento do Piauí, representado nos registros das trilhas e migrações no passado, por ter funcionado como um corredor migratório entre o que Azevedo (2007) denomina de dois nordestes: o ocidental representado pelos estados do Maranhão e Piauí; e o oriental pelos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco. Essa forma simples do “diário” dessas longas caminhadas foi deixado impresso e talhado sobre as rochas dispostas na entrada do cânion, como gravura em baixo relevo, com utilização da técnica de picoteamento, nas formas de grafismos, tridígitos e setas, esta ultima parece ter o significado de indicador da rota a ser seguida. Hoje, essas gravuras rupestres representam uma biblioteca a céu aberto e um forte indicativo da importância social e ecológica do cânion para os povos primitivos.

O passado geológico-geomorfológico do cânion do rio Poti está escrito nas suas rochas e nas formas assumidas para moldar o seu leito como um longo e desafiador processo evolutivo. E o começo dessa luta no processo de instalação e definição da sua área de influência tem início quando da fissura do supercontinente Pangea, por volta de 100 milhões de anos atrás, quando a América do Sul e África se separaram. A área hoje correspondente

ao nordeste brasileiro é tida como o último ponto a ser desligado e alguns dados permitem levantar a possibilidade dessa área ter se individualizado configurando um novo continente. Essa configuração não se instalou mas ficaram marcas da intensa movimentação desses terrenos elevados muito bem representadas nas deformações, falhas e fraturas atualmente encontradas nessa porção do continente sul-americano. Movimentos intensos no interior do continente foram responsáveis por colocarem terrenos cristalinos e sedimentares em altitudes muito elevadas, próximas dos mil metros (CLAUDINO-SALES, 2018).

Em toda a borda da Bacia do Parnaíba as litologias da Província Parnaíba datadas de cerca de 430 milhões de anos e litologias pertencentes ao embasamento cristalino de 2,2 bilhões de anos, foram posicionadas lado a lado como resposta à movimentação intensa na área da atual Plataforma Sul-Americana. Por volta de 90-80 milhões de anos atrás o rio Poti começa esse processo no município de Quiterianópolis (CE), no princípio aproveitando a topografia dos terrenos no sentido sul-norte até Crateús (CE) quando muda sua direção para noroeste (Figura 7) e em seguida inflete para oeste ao ser capturado por uma falha geológica de dimensão continental indo desaguar no rio Parnaíba, em Teresina (PI) depois de percorrer cerca de 570 km (RADAMBRASIL, 1981; 1973).

Figura 7. Traçado do leito do rio Poti no seu percurso da nascente à foz e pontos característicos das suas morfoestruturas e morfoesculturas citados no texto.



FONTE: Elaborado pelo autor.

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

Com 52.202 Km² de área o cânion está implantado no médio curso do rio Poti com 12.480 Km² em território cearense e 37.750 Km² em território piauiense tendo ainda 1.971 Km² de área litigiosa na divisa entre os estados do Ceará e Piauí (AZEVEDO, 2007). Toda a sinuosidade e forma de *cânion* está configurada e definida a partir do ponto em que ele corta o *front* da Serra da Ibiapaba, caracterizando-se como um rio cataclinal ou consequente segundo classificação de Penteado (1980), com escoamento na direção da inclinação das camadas por todo o trajeto com início na Depressão Sertaneja e toda a porção leste da Província Parnaíba, porção esta definida como *glint* da Ibiapaba (CLAUDINO-SALES & PEULVAST, 2007). Neste percurso vai percorrendo diferentes litologias pré-cambrianas da Unidade Canindé (paragnaisse metamorfizados e migmatizados) quando em território cearense (Figura 8) e começa a dissecar a parte ocidental da borda da Província Parnaíba segundo um corte transversal na Serra da Ibiapaba e começa a instalar o seu novo curso nas litologias da Bacia do Parnaíba (BARRETO *et al.*, 2014; BARRETO *et al.*, 2011). Os terrenos cristalinos por oferecerem menor resistência à erosão permitiram a abertura e ampliação do vale na forma de área deprimida, já nos sedimentares, mais resistentes, o rio aprofunda seu talvegue nesta porção mais elevada na forma de garganta ou cânion (Figura 9).

Figura 8. Litologias dos terrenos sedimentares e cristalinos na borda da Província Parnaíba, na zona de limite entre os estados do Piauí e Ceará.

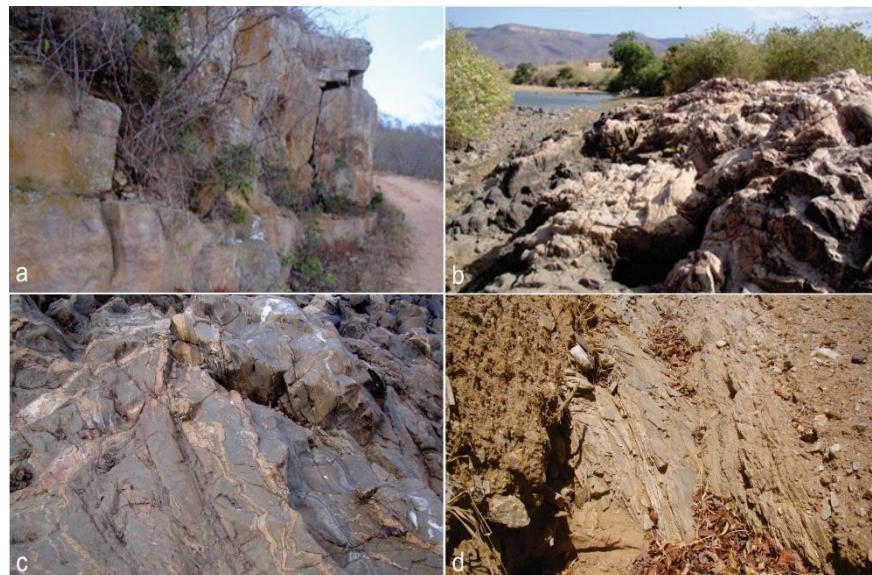
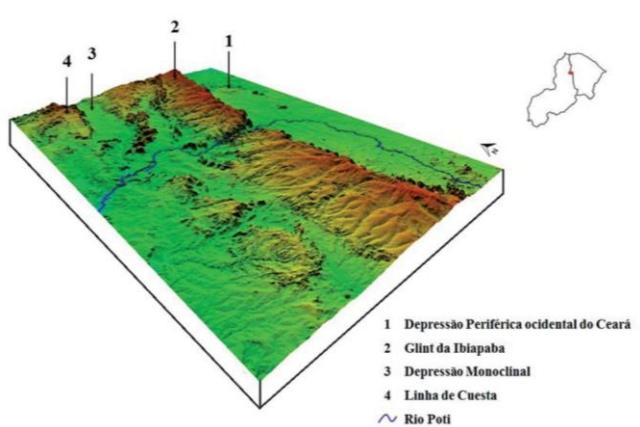


FOTO: Legenda: a) contato F. Ipu/F. Tianguá, morro Alto Bonito , localidade Oiticica; granitos (b), paragnaisse migmatizados (b) e quartzitos e xistos do embasamento(c e d). Acervo particular do autor.

Na figura 9 está representado os ambientes definidos pela ação de instalação do rio Poti: depressão periférica ocidental do Ceará, *glint* da Ibiapaba, depressão monoclinal e a linha de *cuesta* (BARRETO *et al.*, 2014; BARRETO et al., 2012). A incisão do Rio Poti neste trecho específico chega a atingir a sua maior profundidade com cerca de 300 m (LIMA, 1982; SADDI & TORQUATO, 1992; BARRETO *et al.*, 2014). A forma de cânion fica bem definida a partir do ponto em que o rio corta o *front* da Serra da Ibiapaba e desliza, aproveitando a inclinação das camadas, para definir sua geomorfologia no trajeto sobre as litologias sedimentares e cristalinas (PENTEADO, 1980; CLAUDINO-SALES & PEULVAST, 2007).

Figura 9. Bloco diagrama do cânion e ambientes definidos durante o processo de instalação do Rio Poti.



Fonte: Barreto *et al.*, 2014

Todo o trabalho de incisão e implantação do cânion, principalmente na Serra da Ibiapaba, foi desencadeado e potencializado quando, durante a divisão do Pangea, os terrenos cristalinos e sedimentares da porção cearense foram soerguidos numa condição em que o cristalino elevou-se mais que o sedimentar (CLAUDINO-SALES, 2002). Os terrenos da porção mais elevada foram mais forte e efetivamente afetados pelos processos erosivos para o que contribuiu a fragilidade das suas estruturas e, como resultado, a definição de um relevo cuestiforme do tipo *glint* nessa zona limite entre terrenos sedimentares da Província Parnaíba e cristalinos (CLAUDINO-SALES, 2002). Como consequência de todo esse processo e da maior resistência dos terrenos sedimentares o rio Poti foi aprofundando o seu nível de base e do seu talvegue nas litologias do Grupo Serra Grande para, por fim, atingir o mesmo nível de base da depressão periférica (ver figura 9).

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

Para Carvalho (2012), as rochas que afloram na base e nas vertentes do cânion, especificamente principalmente entre os distritos de Ibiapaba e Oiticica, município de Crateús-CE, estão representadas por litologias da Formação Ipu em contato com rochas do embasamento, ali representadas por gnaisses do Complexo Ceará. Para este mesmo autor, a ação erosiva das águas do rio Poti nesta área recai sobre os arenitos da Formação Tianguá sobrepostos aos da Formação Ipu. Toda a drenagem da área está fortemente submetida a um controle estrutural, quer ao norte ou ao sul do cânion, e todo o processo de instalação das mesmas é facilitado pelo numero significativo de falhas e fraturas (CEPRO, 1995; CARVALHO, 2012) o que facilitou a modelagem das paisagens e dissecação dos terrenos e, consequentemente, a instalação do cânion (LIMA, 1982; CHRISTOFFOLETI, 1981; PENTEADO, 1980).

2.5 Gravuras e pinturas rupestres

A bacia do rio Poti, em função da sua posição geográfica e do cânion, funcionou como um corredor migratório entre as planícies do Piauí e Maranhão e o semi-árido do Ceará, Pernambuco e Bahia. As milhares de gravuras rupestres confeccionadas em baixo relevo, por picoteamento, e outras tantas de pinturas rupestres em abrigos sob rochas comprovam que esta região foi, em tempos, uma rota migratória milenar dos primeiros habitantes das américas. Na figura 10 estão representados diferentes processos de gravuras nas rochas - bastonada, em cascata, tridígitos, figurativa, fitomorfa- dentre outras. Essas milhares de gravuras e pinturas rupestres podem ser classificadas como representativas de diferentes estilos artísticos contendo, na grande maioria, figuras humanas e animais. São marcas antigas e que diferem daquelas encontradas no Parque Nacional da Serra da Capivara e Parque Nacional de Sete Cidades, ambos no Piauí. Essa diversidade e número de gravuras é um forte indicativo da diversidade de grupos que por alí viveram ou passaram o que permite colocar essa área como uma das mais importantes e representativas do Brasil e na América do Sul neste seguimento de gravuras talhadas e picotadas em baixo relevo na rocha e sem o uso de pigmentos. As pinturas rupestres encontradas na região foram conseguidas com o uso de tinturas a partir de minerais e matéria orgânica e geralmente encontradas em abrigos sob rochas. Tanto as pinturas quanto as gravuras dão indicativos de como esses povos viviam, suas formas de vida, atividades do dia-a-dia, forma encontrada para transmissão dos conhecimentos adquiridos.

Figura 10. Museu a céu aberto de gravuras no arenito encontradas, predominantemente no leito do rio, na região da Fazenda Boa Esperança.



FOTO: Acervo particular do autor.

3 Considerações finais

Esta pesquisa aborda alguns condicionantes morfoestruturais na área de instalação do cânion do rio Poti bem como de sua evolução geomorfológica a partir da revisão da produção bibliográfica sobre o tema e um forte embasamento e evidências obtidas através de etapas de campo e geoprocessamento de imagens.

Uma maior resistência das rochas sedimentares em relação às rochas cristalinas é bem caracterizado nas vertentes do *glint* da Serra da Ibiapaba, característica essa não condizente com o senso comum que geralmente atribui uma maior resistência às rochas cristalinas. Na área essas rochas têm idade do Paleoproterozoico ou mais antigas e são encontradas fortemente metamorfizadas e fraturadas. As litologias sedimentares do Grupo Serra Grande apresentam uma maior resistência aos processos erosivos como consequência do aumento na consistência e compação adquirida ao longo do tempo.

O cânion do rio Poti teve sua evolução e instalação associada aos processos de soerguimento dos terrenos cristalinos e sedimentares que passam a funcionar como divisores de água e, com os terrenos cristalinos atingindo posição mais elevada que os sedimentares

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

da Bacia do Parnaíba. Em campo, ficam bem evidenciados os processos aos quais foram submetidos os terrenos da Bacia do Parnaíba, também identificada na literatura como Província Sedimentar do Meio-Norte ou Província Parnaíba. De presença, influência e forte controle estrutural é a contribuição, principalmente sobre a drenagem e instalação do cânion, dos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês.

Os estudos e levantamento de dados estruturais da bacia do rio Poti assume uma importância significativa que advém do fato da mesma estar inserida e representar, no contexto das estruturas geológicas regionais, uma zona de contato entre o embasamento cristalino pré-cambriano a leste e a Província Parnaíba paleomesozoica a oeste.

Referências bibliográficas

- AB'SABER, Aziz Nacib. 1969. **A depressão periférica paulista**: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácea na Bacia do Paraná. *Geomorfologia*, n.15, p.1-15.
- ALVES, M. A. R. 2012. **Bacia do Parnaíba**. 11a Rodada – Licitações de Petróleo e Gás. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Rio de Janeiro.
- AZEVEDO, Benedito Rubens Luna de. 2007. A importância socioambiental da bacia hidrográfica dorio Poty na formação da identidade piauiense. *Carta Cepro*, Teresina, v. 24, n. 1, p. 54-59.
- BAHIA, Ruy Benedito Calliari.; LOPES, Ricardo Cunha; SILVA, Augusto José Pedreira.; VASCONCELOS Antonio Maurílio. 2003. Bacias sedimentares paleozóicas e mesocenozoicas interiores. In: BIZZI L. A.; GONÇALVES J. H.; SCHOBENHAUS C.; VIDOTTI R. M. (eds.) **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM.
- BARRETO, Lucas Lopes.; COSTA, Luis Ricardo Fernandes da. 2014. Evolução geomorfológica e condicionantes morfoestruturais do cânion do Rio Poty – Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 17-26.
- BARRETO, Lucas Lopes.; COSTA, Luis Ricardo Fernandes de; CLAUDINO-SALES, Vanda de. C. 2011. Cânion do Poty: relevo maior na divisa entre o Ceará e o Piauí. In: XIX Simpósio Nacional de Geografia e Física Aplicada. Dourados, MS. **Anais do XIX SNGFA**, 2011. v. 1. p. 1-7.
- BARRETO, Lucas Lopes; COSTA, Luis Ricardo Fernandes da.; CLAUDINO-SALES, Vanda de. 2012. Cânion do rio poti: contribuição para a geomorfologia estrutural do oeste cearense. In: AGUIAR, P. F.; MEIRELES, A. J. A. (Orgs.). **Relevo cearense**: perspectivas de análises. Porto Alegre.
- BRITO NEVES, Benjamin Bley de. 1999. America do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrecional andino. **Rev. Brasileira de Geociências**. 29(3)379-392.

CABY, Renaud; ARTHAUD, Michel Henri; ARCHANJO, Carlos José. 1995. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamics implications. IN: SILVA FILHO, A.F.; LIMA, E.S. (eds.). Geology of the Borborema Province. *Journal of South America Earth Science* 235-246.

CACAMA, Moisés Samuel João Bota; JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz.; SILVA, Fernando César Alves da; LINS, Fernando Antônio Pessoa Lira. 2015. Assinatura estrutural e geofísica da Porção Norte (fronteira Ceará/Piauí) do Lineamento Transbrasiliano: reativação na Bacia do Parnaíba. **Geologia USP**, Série Científica, v. 15, n. 3-4, p. 6-81.

CARNEIRO, Celso Del Ré; HAMZA, Valiya Mannathal; ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. 1989. Ativação tectônica, fluxo geotérmico e sismicidade no nordeste oriental brasileiro. **Rev. Brasileira de Geociências**, 19(3): 310-322 setembro de 1989.

CARVALHO, L. M. R. 2012. **Levantamento litoestratigráfico e tectônica frágil na formação do cânion do rio Poti numa região a oeste do município de Crateús – CE**. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Geologia. Fortaleza.

CASTRO, David Lopes de; Medeiros, Walter Eugênio de; JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz; MOREIRA, José Moraes. 1998. **Gravity map of part of Northeast Brazil and adjacent continental margin and its interpretation based on the hypothesis of isostasy**. Rev. Bras. Geof. vol.16 n.2-3 São Paulo July/Nov.

CASTRO, David Lopes de; BEZERRA, Francisco Hilário Rego; FUCK, Reinhart Adolfo; VIDOTTI, Roberta Mary. 2016. Geophysical evidence of pre-sag rifting and post-rifting fault reactivation in the Parnaíba basin. **Brazil Solid Earth**, vol. 7, p. 529–548.

CASTRO, David Lopes de; FUCK, Reinhart Adolfo; PHILLIPS, Jeffrey. D; VIDOTTI, Roberta Mry; BEZERRA, Francisco. Hilário Rego; DANTAS, Elton. L. 2014. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba basin revealed by airborne gravity and magnetic data, Brazil. **Tectonophysics**, vol. 614, p. 128–145.

CEPRO. 1995. **Diagnóstico das condições ambientais de Estado do Piauí**, Teresina.

CHRISTOFFOLETI, Antônio. 1981. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher.

CLAUDINO SALES, Vanda de. 2002. **Les littoraux du Ceará – Evolution géomorphologique de la zone côtière de l'Etat du Ceará, Nord-est du Brésil**. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sorbonne, 534p.

CLAUDINO-SALES, Vanda de. 2002. **Les Littoraux du Ceará**. Evolution géomorphologique de la zone côtière de L'Etat du Ceará, Brésil du long terme au court terme. Thèse de Doctorat. Université Paris Sorbonne, Paris.

CLAUDINO-SALES, Vanda de. PEULVAST, J. P. 2007. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia (UFU)**, v. 8, p. 2-22.

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

CLAUDINO-SALES, Vanda de. 2018. Megageormorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro. *Revista de Geografia*, 45-65.

COLOMBO, C. G. Tassinari. 2003. Tectônica Global. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003

CORDANI, U. G. & SATO, K. 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. *Episodes*, 22(3): 167-173.

CORDANI, Umberto G., and Kei Sato. 1999. "Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks." *Episodes-News magazine of the International Union of Geological Sciences* 22.3 (1999): 167-173.

CORRÊA-MARTINS, Francisco. José; Mendes, Julio Cesar & Bertolino, Luis Carlos. 2018. Petrografia, Diagênese e Considerações sobre Proveniência da Formação Itapecuru no Norte do Maranhão. In *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. October.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa geológico do Estado do Piauí. Escala: 1:1.000.000. Piauí. 2006.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Geodiversidade do Estado do Piauí/ Organização Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, Fernanda Soares de Miranda Torres [e] Ricardo de Lima Brandão. – Recife: CPRM, 2010.

CPRM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000, Ceará. CPRM, 2003.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 1:500.000, 2014.

CUNHA, Francisco Mota Bezerra da. 1986. Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências-UFRJ. Tese de Doutoramento. 107 p.

DALY, Michael Christopher; ANDRADE, Vander; BAROUSSE, C. A.; COSTA, Rafaela; McDOWELL, Kenneth; PIGGOTT, Neil; POOLE, Alan J. 2014. Brasiliano crustal structure and the tectonic setting of the Parnaíba basin of NE Brazil: Results of a deep seismic reflection profile. *Tectonics*, vol 33, p.1–19.

DANNI, José Caruso M. 1972. Geologia da porção sul do Grupo Jaibaras - Ceará. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 2 (2), p. 85-97.

FERREIRA, M. A. 2013. Bacia do Parnaíba. 12a Rodada – Licitações de Petróleo e Gás. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Rio de Janeiro.

GÓES, Ana Maria. 1995. A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba. São Paulo, IGc-USP, tese de doutoramento, 171p.

GÓES, Ana Maria; FEIJÓ, F. J. 1994. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, vol. 8, p. 57–67.

GÓES, Ana Maria; SOUZA, J. M. P; TEIXEIRA, L. B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro, v., n.jan./mar.p. 55-64.

GREGORY, Kenneth John, WALLING, Desmond Eric. 1973. *Drainage Basin, Form and Process*. London: Ed Edward Arnold.

HEILBRON, Monica; VALERIANO, Cláudio de Morisson; VALLADARES, Cláudia Sayão; MACHADO, Nuno. 1995. A Orogenese Brasiliiana No Segmento Central da Faixa Ribeira, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasil, v. 25, n.4, p. 249-266.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River patterns, braided, meandering and straight. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 282-B, p.1-85, 1957.

LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé. **Caracterização Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Poti. Dissertação de Mestrado**. Rio de Janeiro. 1982.

MATOS, Renato M. D. de. 2000. Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic, in W. Mohriak and M. Talwani, editors, *Atlantic Rift on Continental Margins*. **AGU Geophysical Monograph**, 115, p. 331-354.

OLIVEIRA, Diógenes Custódio; MOHRIAK, Webster Ueipass. 2003. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. **Marine Petroleum Geology**, 20, 351– 383.

PEDREIRA DA SILVA, Augusto José; LOPES, Ricardo da Cunha; VASCONCELOS, Antônio Maurílio; BAHIA, Ruy Benedito Calliari. 2003. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: Bazzi, L. A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R. M.; Gonçalves, J. H. (eds.): *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília: 55-85.

PENTEADO, Margarida Maria. **1980. Fundamentos de Geomorfologia**. 3^a ed. Rio de Janeiro: IBGE.

PEULVAST, Jean-Pierre Rene Charles; CLAUDINO SALES, Vanda de. 2004. Aplainamentos e Geodinâmica: revisitando conceitos clássicos em Geomorfologia. Fortaleza. **Rev. Mercator** 1:62-92.

RADAMBRASIL. 1973. FOLHA SB.23 TERESINA E PARTE DA SB.24 JAGUARIBE; geologia, geomorfologia. Rio de Janeiro.

RADAMBRASIL. 1981. FOLHA SB.23/24 JAGUARIBE/NATAL: geologia, geomorfologia. Rio de Janeiro.

SAADI, Allaoua; TORQUATO, Joaquim Raul. 1992. **Contribuição à Neotectônica do Estado do Ceará**. Revista Geologia UFC, 5:1-38.

SCHOBENHAUS FILHO, Carlos. 1975. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Goiás (SD 22)** (texto explicativo). Brasília: DNPM.

CÂNION DO RIO POTI: UM CENÁRIO DA HISTÓRIA GEOLÓGICA PLANETÁRIA DA BACIA DO PARNAÍBA

SCHOBENHAUS FILHO, Carlos; CAMPOS, Diógenes de Almeida; DERZE, G. R.; ASMUS, Haroldo Erwin. 1975. (coords.). Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22. In: Schobbenhaus Filho, C. (coord.) Carta Geológica do Brasil Milionésimo. Brasília, DNPM.

SCHOBENHAUS FILHO, Carlos; CAMPOS, Diógenes de Almeida. 1984. A evolução da plataforma Sul-Americana no Brasil e suas principais concentrações minerais. In: SCHOBENHAUS FILHO, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:250.000. Brasília: DNPM. p. 9-49.(cap.1).

THOMAZ Filho, A., MIZUSAKI, A. M. P., MILANI, E. J., & DE CESERO, P. E. D. R. O. 2000. Rifting and magmatism associated with the South America and Africa break up. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 017-019.

Agradecimentos: Meus agradecimentos ao Serviço Geológico do Brasil-SGB e Universidade Estadual do Piauí, duas entidades de ensino e pesquisa que me possibilitaram as condições de estudo e atividades de campo no levantamento e coleta de dados para embasar esta pesquisa. Agradecimentos ao estagiário/técnico em geoprocessamento Igor de Castro Sousa pela colaboração na elaboração dos mapas.

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

The Hydrothermal Genesis of Opal in the State of Piauí, Brazil

Érico Rodrigues Gomes^{1*}, Marcondes Lima da Costa²&Gisele Tavares Marques³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; erico.gomes@ifpi.edu.br ORCID: 0000-0002-1942-1396

² Universidade Federal do Pará; marcondeslc@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0134-0432

³ Universidade Federal do Pará; gisele.ufpa@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3122-259X

RESUMO: Existem dois conjuntos de teorias que propõem origens distintas para as opalas de Pedro II. Um grupo propõe origem similar às opalas australianas, resultantes de variações climáticas sob condições ambientais em clima árido. Este trabalho demonstra a gênese hidrotermal para estas opalas piauienses, que tem seu contexto geológico marcado pela associação rochas sedimentares, arenitos e rochas ígneas intrusivas, o diabásio. Tudo começa com a fragmentação do supercontinente Pangeia, formação do Oceano Atlântico e uma reativação do Lineamento Transbrasiliano cruzando a Bacia Sedimentar do Parnaíba, ocorrendo um magmatismo formador de soleiras alojadas abaixo dos arenitos. Este magma aqueceu a água contida nos poros do arenito, desenvolvendo células de convecção de fluidos, solubilizando a sílica dos grãos quartzosos dos arenitos e da camada externa da rocha ígnea, liberando muita sílica para formar as opalas. Com a diminuição da temperatura, a solução saturada em sílica torna-se uma solução gel supersaturada, precipitando opala nas fraturas, acima da camada de argila existente no contato entre as rochas sedimentares e o diabásio, e entre a fácies alterada e o diabásio não alterado. O conjunto de evidências geológicas, mineralógicas e geoquímicas encontradas associadas às opalas, são indicativos de que estas se originaram neste ambiente hidrotermal.

Palavras-chave: Opala Brasileira, Pedro II, Buriti dos Montes, Lineamento Transbrasiliano

ABSTRACT: There are two sets of theories that propose different origins for Pedro II's opals. One group proposes a similar origin to Australian opals, resulting from climatic variations under environmental conditions in an arid climate. This work demonstrates the hydrothermal genesis for these opals from Piauí, whose geological context is marked by the association of sedimentary rocks, sandstones and intrusive igneous rocks, diabase. It all starts with the fragmentation of the supercontinent Pangea, formation of the Atlantic Ocean and a reactivation of the Transbrasiliano Lineament crossing the Parnaíba Sedimentary Basin, occurring a magmatism forming sills lodged below the sandstones. This magma heated the water contained in the sandstone pores, developing fluid convection cells, solubilizing the silica from the quartz grains of the sandstones and from the outer layer of igneous rock, releasing much silica to form the opals. As the temperature decreases, the silica-saturated solution becomes a supersaturated gel solution, precipitating opal in the fractures, above the clay layer in contact between the sedimentary rocks and the diabase, and between the altered facies and the unaltered diabase. The set of geological, mineralogical and geochemical evidence found associated with opals are indicative that they originated in this hydrothermal environment.

Keywords: Brazilian Opal, Pedro II, Buriti dos Montes, Transbrasiliano Lineament

1. Introdução

O Brasil é uma das mais importantes e maiores províncias gemológicas do mundo, tradicional produtor de gemas de cor. Neste cenário, estão as jazidas de opalas preciosas de Pedro II e opala laranja de Buriti dos Montes (Piauí). Estas destacam-se pela sua maior resistência ao calor bem como pela sua dureza, em média mais elevada do que as suas congêneres mundiais, o que as tornam gemas muito apreciada pela indústria de jóias e colecionadores. Estas características únicas, provavelmente são resultantes do modo de formação destas opalas, num ambiente hidrotermal.

As ocorrências, garimpos e minas estudadas estão contidas na Bacia Sedimentar do Parnaíba (BSP). Esta possui uma área de 666.000 km² e encontra-se situada no Meio Norte do Brasil. É delimitada pelo Arcos Ferrer-Urbano Santos ao norte, bacia São Francisco ao sul e sudeste, Arco de Tocantins a noroeste. Reativações de feições estruturais herdadas do embasamento, como o Lineamento Transbrasiliano, com direção geral nordeste-sudoeste (regionalmente denominado de Sobral-Pedro II) e o Lineamento Picos-Santa Inês, este com direção geral noroeste-sudeste, influenciaram na subsidência da BSP e em sua evolução tectono-sedimentar, controlando as direções dos principais eixos deposicionais dos sedimentos e o magmatismo básico fissural (Góes *et al.* 1990; Góes & Feijó, 1994; Vaz *et al.*, 2007).

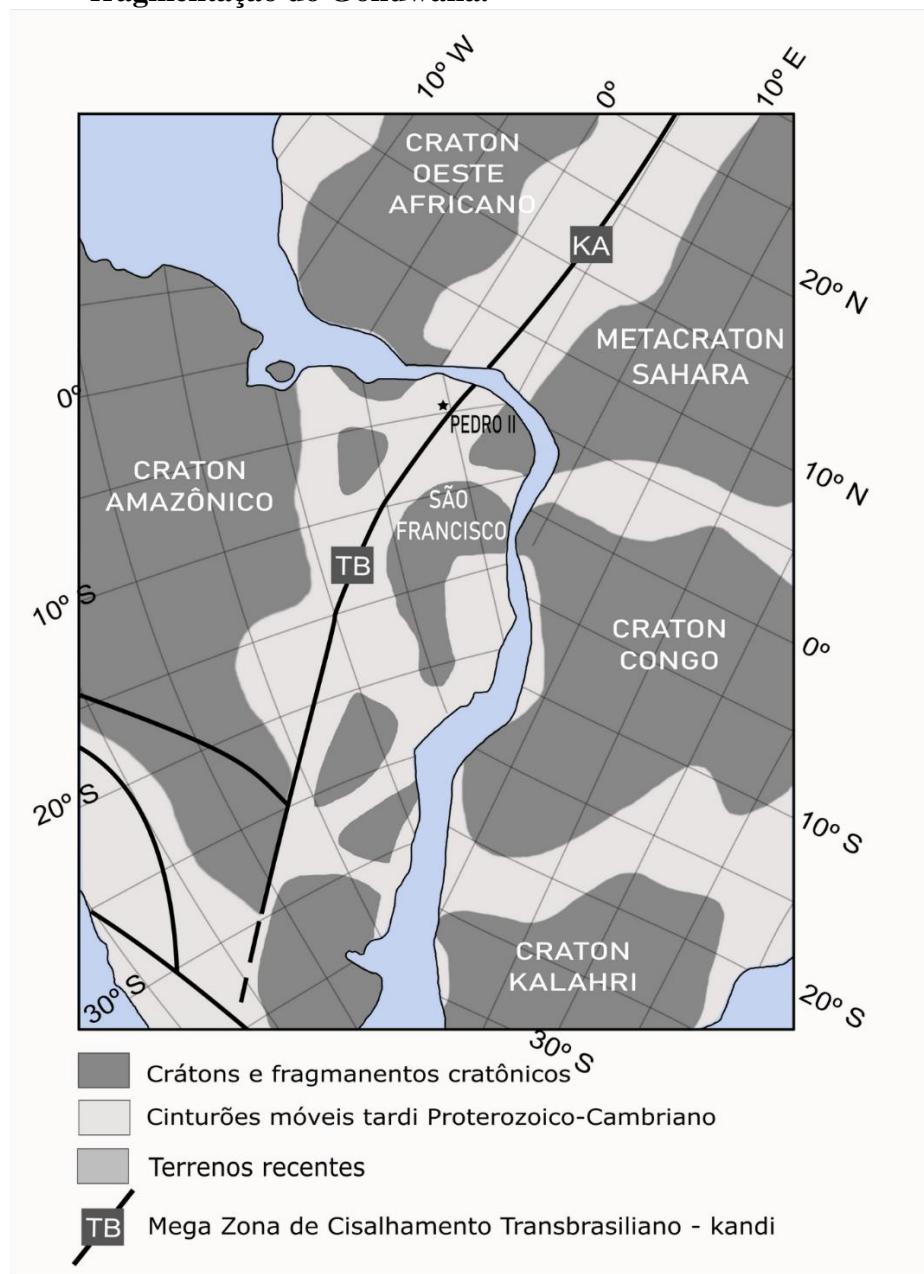
2. Desenvolvimento

2.1 O Lineamento Transbrasiliano

O Lineamento Transbrasiliano (LTB) é definido como uma megaestrutura geológica que atravessa rochas cisalhando-as em diversas reativações dícteis e rúpteis ao longo de sua história. Exibe direção geral NE-SW, cerca de 5.000 km de extensão, 40 km de profundidade e até 300 km de largura. Tem início na Argentina, cruza o Paraguai e todo o território brasileiro, tendo sua continuação no continente africano em Beni, Togo e Argélia, atravessando o Saara numa extensão de aproximadamente 4.000 km, onde recebe a denominação de Lineamento Kandi (Schobbenhaus *et al.*, 1975; Cordani *et al.*, 2013; Julião, 2015; Ferreira *et al.*, 2019; Gadea, 2021; figura 01).

O LTB formou-se no final do Neoproterozoico, é a principal zona de sutura resultante da colisão do cráton Amazônico com o cráton São Francisco e outros blocos crustais meno-

Figura 01 – Destaca o Lineamento Transbrasiliano (na América do Sul) - Kandi (na África) numa reconstituição no início da fragmentação do Gondwana.



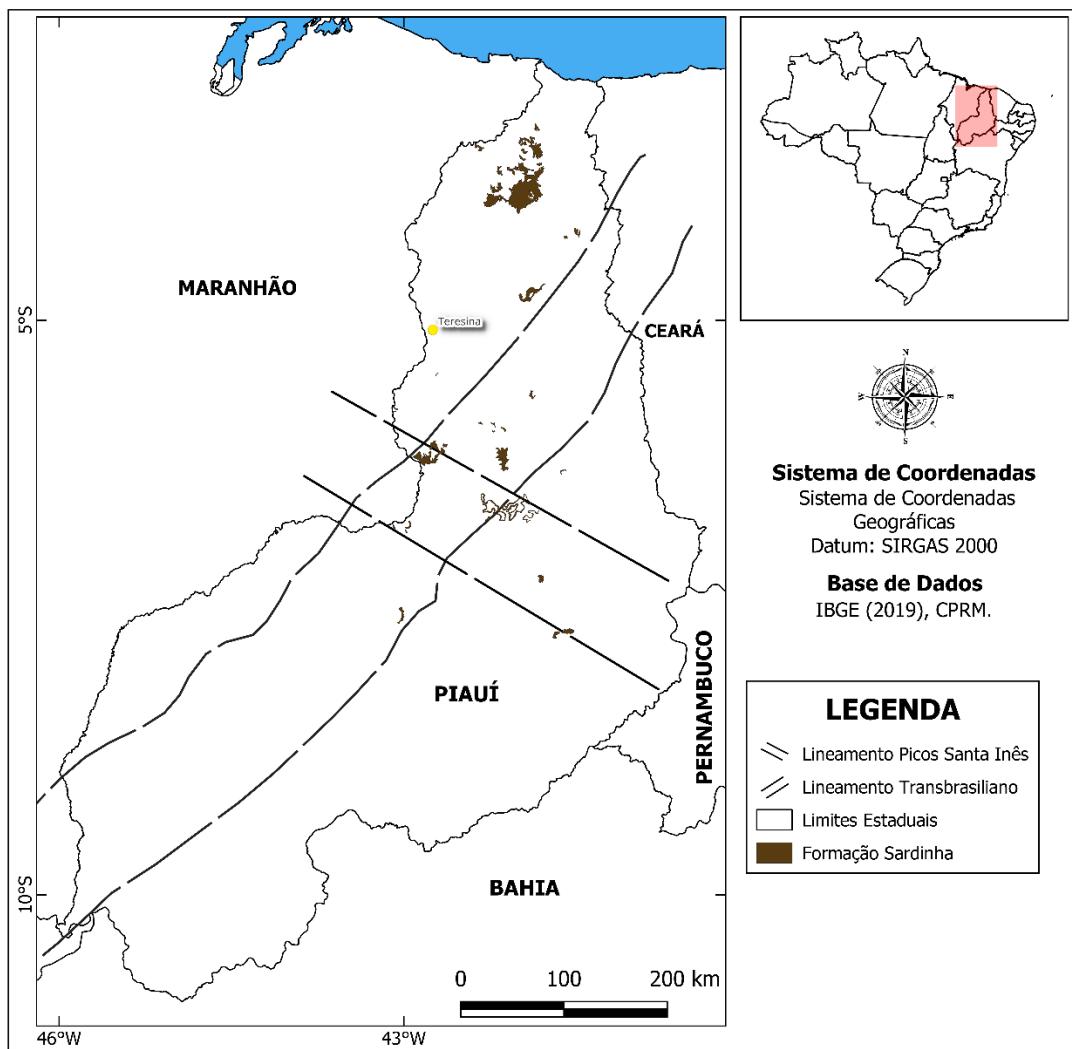
Fonte: Modificado de Cordani et al., 2013

res da Plataforma Sul-americana, durante a formação do supercontinente Gondwana. Teve influência na formação do arcabouço estrutural da BSP controlando através de reativações, o seu preenchimento sedimentar e magmático. (Gonzaga & Tompkins, 1991; Vaz et al., 2007; Castelo Branco & Pedrosa Junior, 2013; Cordani *et al.*, 2013; Santos et al., 2013; Julião, 2015).

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

Associadas com a tectônica distensiva responsável pela fragmentação do Supercontinente Pangea, reativações do LTB representadas pelas zonas de cisalhamento e falhas, serviram de condutos, controlado a ascenção de magmas basálticos encontrados por toda a BSP, os quais foram agrupadas estratigráficamente na Formação Sardinha (Almeida et al., 1988; Thomaz Filho *et al.*, 2008). As rochas básicas são relacionadas a três pulsos magmáticos principais (Caldasso & Hama 1978; Góes *et al.* 1993). O mais antigo (entre 215 e 180 Ma.), é associado com os movimentos de abertura do Oceano Atlântico Norte. O segundo pulso (180 a 150 Ma.), aparentemente mais expressivo, relaciona-se com a abertura do Oceano Atlântico Equatorial. O terceiro pulso (de 150 a 110 Ma.), é relacionado com a abertura do Oceano Atlântico Sul. No Piauí, afloram como diques e soleiras desde o norte até a região central do estado (Figura 02).

Figura 02 – Distribuição dos afloramentos de diabásios e os Lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês no estado do Piauí.

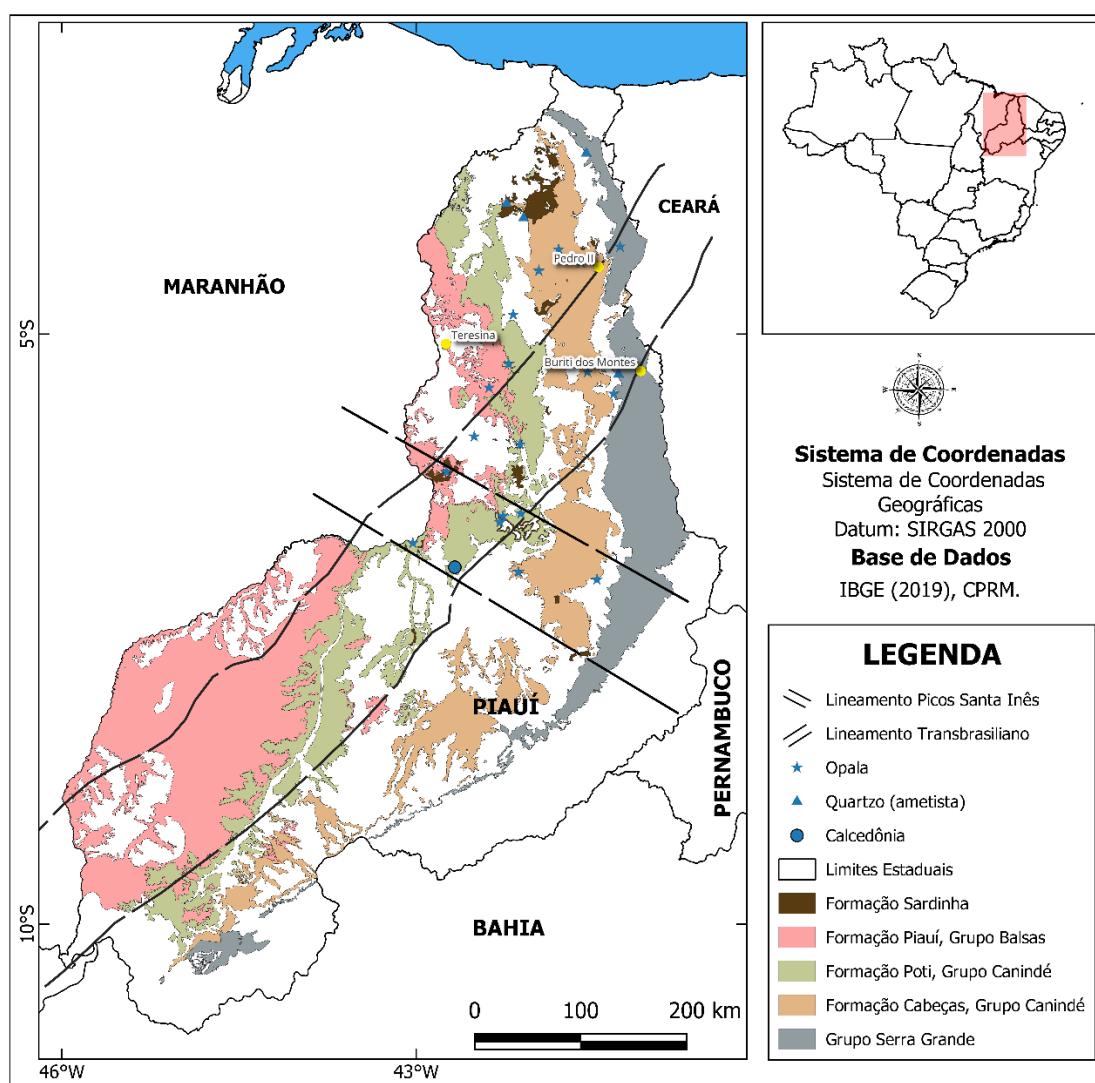


Fonte: Modificado de Gomes (1990) e Castro *et al.* (2016).

2.2 A Opala no Estado do Piauí

No estado do Piauí, o contexto geológico das diversas ocorrências primárias de opalas é marcado pela associação litológica arenito-diabásio, representada pelos arenitos do Grupo Serra Grande ou das Formações Cabeças ou Poti (Figura 03). E a presença das rochas intrusivas, as soleiras de diabásios, na base destas rochas sedimentares, integrante da Formação Mosquito. Estes arenitos formam os aquíferos homônimos, constituindo-se numa importante reserva de água subterrânea. Um cenário perfeito para a instalação e o desenvolvimento de um ambiente hidrotermal, com a região mineralizada com opala sob os domínios do Lineamento Transbrasiliano.

Figura 03 – Mapa geológico contendo as unidades geológicas formadas pelos arenitos, diabásios e a localização das principais ocorrências de opalas, ametistas e calcedônia



Fonte: Modificado de Gomes (1990), Gomes (2002); Castro et al. (2016).

Até o presente, já foram identificadas ocorrências de opalas nos municípios de Alto Longá, Angical, Beneditinos, Barra d'Alcântara, Buriti dos Montes, Campo Maior, Capitão

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

de Campos, Castelo, Domingos Mourão, Floriano, Lagoa de São Francisco, Oeiras, Pedro II, Picos, Piripiri, São Félix do Piauí, São Miguel dos Tapuios, Tanque e Várzea Grande, sendo as mais importantes aquelas localizadas em Pedro II e Buriti dos Montes.

Assim como as opalas, neste ambiente hidrotermal também são encontradas com frequencia no território piauiense, quartzo (hialino, ametista, citrino, esfumaçado, morion e leitoso), sendo mais conhecidas as ametistas dos municípios de Batalha, Esperantina, Cocal e Castelo do Piaui, além de calcedônia, como a jazida da Fazenda Calçadinha, em Nazaré do Piauí (Oliveira, 1988; Carvalho et al., 2010; Costa et al., 2016; Queiroz et al., (2019).

Os diversos estudos realizados com calcedônias, quartzos e opalas apontam para esta última, duas hipóteses que têm dividido as opiniões dos pesquisadores a respeito da gênese da opala de Pedro II: uma associada a processos intempéricos e outra, relacionada aos processos hidrotermais.

2.3 A Origem da Opala do Piauí

Quanto à origem das opalas, para Oliveira *et al.*, (1979) e Vidal *et al.*, (2018), o diabásio teria funcionado como *trap* impermeável para as águas subterrâneas, promovendo a dissolução da sílica do arenito e do próprio diabásio. A precipitação da opala seria controlada pelas oscilações climáticas. Rosa (1988), justificou a concentração de opalas nobres como resultante de uma grande circulação de água saturada em sílica, em função de mudanças climáticas associadas à fase de peneplanização correspondente ao Ciclo de Erosão Velhas.

Nem & Urbano Filho (1974) postulam que as opalas seriam resultantes da precipitação das soluções finais do diabásio. Martins Jr. (1983) associa as opalas com as soluções finais resultantes dos diabásios e às temperaturas elevadas em ambiente altamente confinado, gerando assim as condições necessárias para mobilizar a sílica das rochas adjacentes, principalmente do arenito. Oliveira & Soares Filho (1983) afirmam que as opalas têm sua origem correlacionada às soluções silicosas emanadas das intrusões básicas. Gomes (1990) e Gomes & Costa (1992; 1994; 2001a, 2001b, 2007), Gomes (2002), Marques *et al.*, (2013) e Sachs *et al.*, (2015) sustentam que a gênese da opala na região de Pedro II, está associada a um ambiente hidrotermal relacionado à intrusão dos diabásios nas rochas siliciclásticas da Formação Cabeças. Estas rochas, sob ação termal do diabásio, teriam tido seus silicatos desestabilizados, liberando a sílica que formou a opala.

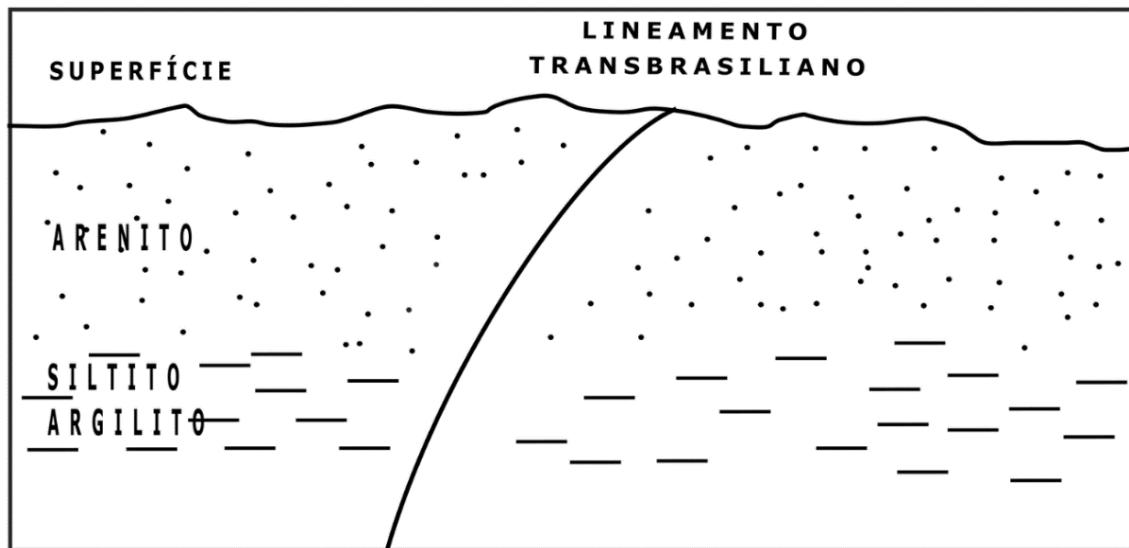
2.4 O Arenito da Formação Cabeças

Esta unidade foi provavelmente uma sequência favorável para formação de soluções hidrotermais, posto que até hoje o seja. O aquífero Cabeças constitui-se num dos principais aquíferos da Bacia Sedimentar do Parnaíba - juntamente com o aquífero Serra Grande e o aquífero Poti-Piauí - tendo boas porosidade e permeabilidade, os quais oscilam em função da maior proximidade com o “sill” básico, quando são até maciços, podendo atingir, na região de Pedro II, uma espessura silicificada de até 20m (Martins Jr., 1983).

Estes arenitos afloram uma faixa contínua na borda Leste da Bacia Sedimentar do Parnaíba e, em menor extensão à Sudoeste da referida bacia sedimentar (Figura 03).

O arenito Cabeças é constituído fundamentalmente de quartzo, com granulação variando de fina a grossa, em tonalidades creme e esbranquiçada. Este, grada para níveis e/ou lentes de siltitos, de cores variegadas e argilitos vermelhos, na base, também quartzosos. Esta composição é assim, favorável a uma ambiência rica em sílica (Figura 04).

Figura 04 – Representação esquemática das rochas sedimentares encontradas em Pedro II, com arenitos no topo, siltitos e argilitos na base (Formação Cabeças).



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

2.5 A Intrusão do Magma Básico

As rochas básicas (diabásio) que ocorrem na região de Pedro II, estão inseridas no evento magmático de caráter intrusivo, com amplitude regional (Figura 02). Este evento é relacionado aos efeitos da separação das Placas Sul-Americana e Africana, que teria reativado o Lineamento Transbrasiliano, regionalmente denominado Sobral-Pedro II,

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

através do qual, ascendeu o magma de composição basáltica. O referido magma veio alojar-se, preferencialmente, na zona de fraqueza existente entre as fácies pelítica e psamítica do Grupo Canindé, na forma de “sills” e diques, por toda a Bacia Sedimentar do Parnaíba. Na região de Pedro II, alojou-se na base do arenito da Formação Cabeças.

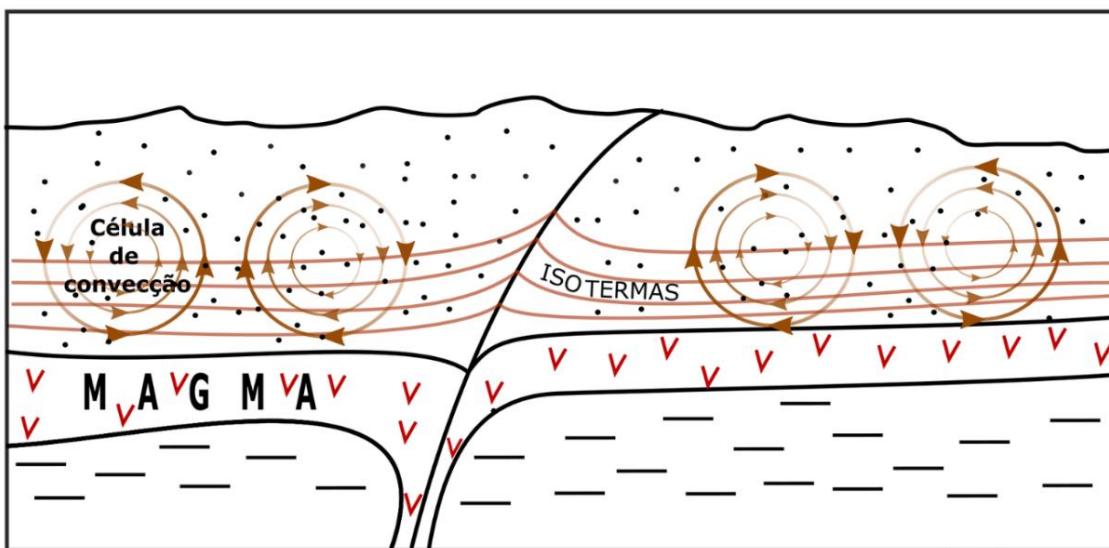
2.6 Os Efeitos da Intrusão do Magma Básico no Arenito

Na referida bacia sedimentar, no âmbito da Formação Cabeças é frequente a ocorrência de arenitos metamorfisado pelo efeito termal, nas proximidades do contato com o diabásio intrusivo (PETROBRÁS, 1963). O desenvolvimento de uma auréola de metamorfismo termal, com recristalização da rocha encaixante, é uma consequência da intrusão de magmas em níveis crustais superiores, onde as rochas encaixantes são mais frias.

A intrusão, a qual desenvolve uma anomalia termal, pode aquecer os fluidos existentes na rocha encaixante e/ou transferir fluidos para as mesmas, em suas proximidades, podendo a temperatura alcançar centenas de graus Celsius. A anomalia térmica, então, se dispersa por transmissão de calor, via condução e, principalmente, pelas células de convecção de fluidos – o processo dominante – e meio saturado com fluidos.

Na região de Pedro II, o “emplacement” do “sill” básico, ocorreu em níveis crustais superiores, tendo como consequência, o aquecimento dos fluidos existentes em suas proximidades, no arenito Cabeças. Isto, originou as células de convecção de fluidos, que podem ter atingido uma amplitude de até 20m, sugerida pela intensa silicificação do arenito. O efeito provocado pelo contraste termal, entre o corpo intrusivo e o arenito encaixante, bem mais frio, resultou na formação de uma zona de arrefecimento rápido, na porção mais externa do diabásio, a qual apresenta granulação mais fina que o interior do corpo (Figura 05).

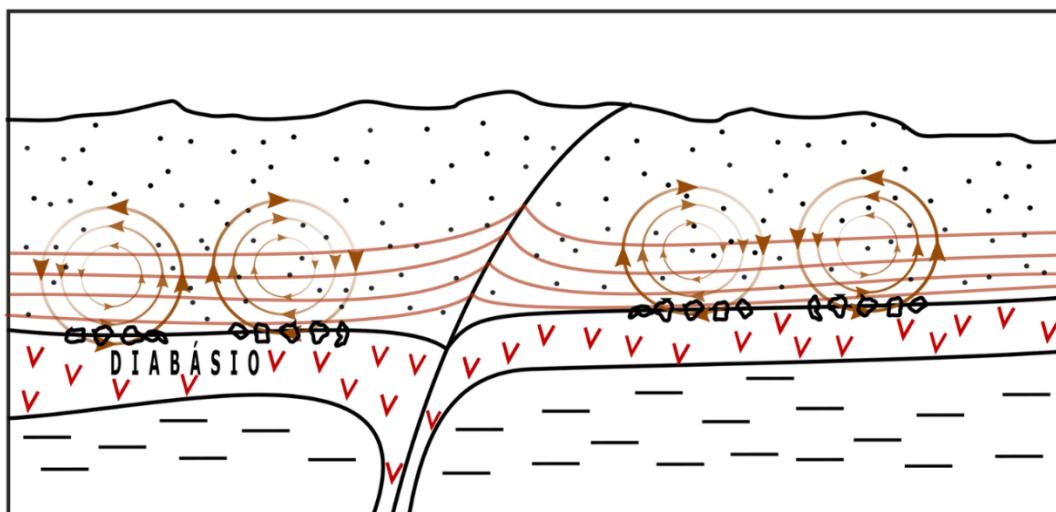
Figura 05 – Representação esquemática da intrusão do magma na base do arenito, aquecendo os fluidos existentes na rocha sedimentar. Observar o desenvolvimento de células de convecção de fluidos hidrotermais. As linhas paralelas ao topo da soleira do magma são as isotermas que dispersam o calor para a rocha hospedeira.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

A pressão do fluido convectivo (σ_1), atuando no contato do diabásio com o arenito, pode tornar-se igual a pressão confinante (σ_2), desenvolvendo um denso fraturamento hidráulico, sem direção predominante (brechação) quebrando a rocha em fragmentos irregulares.

Figura 06 – Fraturamento hidráulico no contato das rochas sedimentares com a soleira de diabásio, intensificando a alteração hidrotermal.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

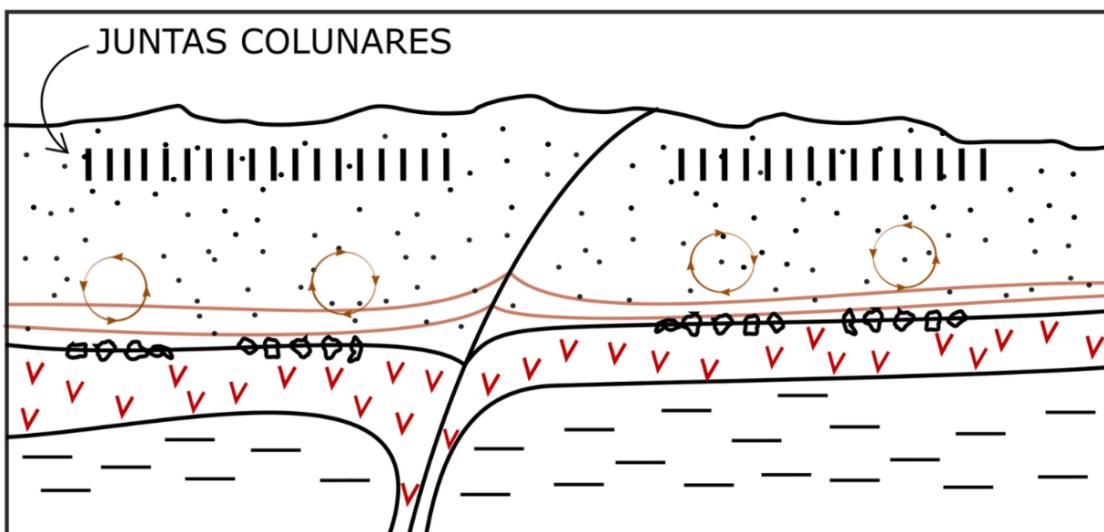
Uma consequência direta desta brechação é o aumento da permoporosidade do sistema, onde o diabásio é também alterado hidrotermalmente, e de forma ainda mais intensa, num determinado intervalo de tempo, em resposta ao maior fluxo convectivo, circulando através de toda a sequência. Isto proporcionou, num momento seguinte, ao crescimento da pressão de fluido convectivo, que interagindo nas litologias, as microfalphou

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

e fraturou, aumentando ainda mais a permoporosidade. Não pode ser desconsiderada a possibilidade de que parte destas fraturas e falhas, possam vir a estar relacionadas a um reativamento do Lineamento Transbrasiliano.

O resfriamento deste “sill” de diabásio, bem como do sistema hidrotermal como um todo, é acompanhado pelo fenômeno da contração das rochas, tendo como consequência deste processo, a formação de diáclases, no diabásio e no arenito. Estas, geralmente desenvolvem-se numa direção perpendicular ao plano de resfriamento resultando, no caso de corpos intrusivos tabulares, na formação de juntas colunares na rocha encaixante, o que é evidenciado nos arenitos de Pedro II (Figura 07).

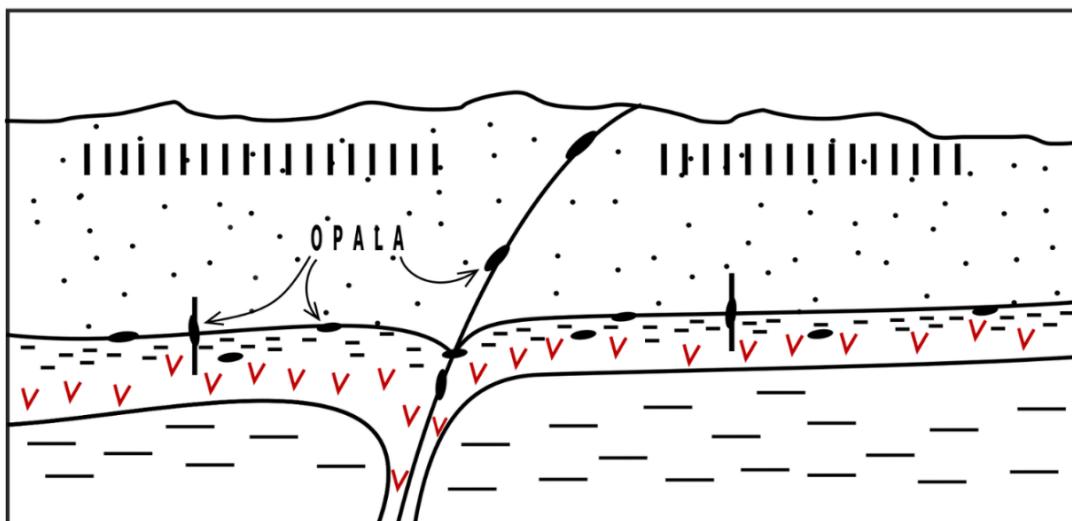
Figura 07 – Figura esquemático representado o processo de resfriamento do sistema hidrotermal e a formação de juntas colunares no arenito.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

Estes fatores proporcionam uma maior dispersão da anomalia termal, tendo associado, uma tendência à diminuição da razão de circulação dos fluidos, concomitantemente ao decréscimo da anomalia térmica. A sílica dissolvida no fluido, resulta da dissolução dos grãos de quartzo do arenito e da alteração hidrotermal da fácie mais externa da soleira de diabásio, onde desenvolve-se a assembléia de minerais: tremolita-actinolita, hornblenda, titanita, biotita, clorita, opacos; serpentina, carbonato, epídoto, sericita e albita (inclusive com a formação de albititos), esmectitas (nontronita) e caolinitas. Ocorre a formação dos nódulos de manganês e ferro, preenchendo fraturas. Na sequência, tem início a precipitação da opala, preenchendo os espaços abertos existentes no arenito, argilito e no próprio diabásio (Figura 08).

Figura 08 – Com o resfriamento do sistema hidrotermal, ocorreu a precipitação da opala nas fraturas do arenito relacionadas com o Lineamento Transbrasiliano; em fraturas no diabásio; entre as rochas sedimentares e o diabásio e; entre a fácie alterada do diabásio e a rocha sã.



Fonte: Modificado de Gomes (1990)

2.7 O Ambiente Hidrotermal

Os fluidos presentes neste processo hidrotermal, seriam oriundos da rocha encaixante (o arenito), mobilizados pela excitação térmica da intrusão ígnea; podendo ter-se, em menor escala, o fluido hidrotermal propriamente dito, relacionado ao estágio final de cristalização da rocha básica, o diabásio.

Associado ao processo de circulação de fluidos, ocorre uma irreversível interação química entre o fluido hidrotermal e os minerais constituintes das rochas. Evidências de campo e laboratório, indicam que o contato entre silicatos e soluções aquosas aquecidas, provocam reações químicas que levaram à formação de assembléias minerais típicas de ambiente hidrotermal. Refletem as novas condições de temperatura, pressão, composição química e mineralógica das rochas envolvidas, a composição química do fluido hidrotermal e, o tempo necessário para o equilíbrio.

As deduções das condições de Temperatura e Pressão dentro da crosta, atuantes neste processo hidrotermal, são baseadas nos dados de estabilidade da assembléia de minerais, resultantes da ação da solução aquecida, principalmente na mineralogia primária do diabásio. Essencialmente, ocorre: desestabilização da augita para tremolita-actinolita, hornblenda, titanita, alguma biotita e clorita, com exsudação de opacos; além da olivina para serpentina. Contemporaneamente, tem lugar a saussuritização do plagioclásio, com geração de

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

carbonato, epídoto, sericita e albita. Esta última, associada com a titanita, constituíram o albitito, vindo a alojar-se em fraturas; e a formação de calcedônia e quartzo, os quais podem ocorrer nos veios juntos com a opala.

Esta assembléia de minerais hidrotermais, por ser característica da fácie albita-epidoto “hornfels”, a mesma é aqui, utilizada como geotermômetro e geobarômetro. Em função destes parâmetros, acredita-se que a temperatura reinante durante este processo hidrotermal, seria da ordem de 300°C, com pressão em torno de 1 kbar.

3. Considerações Finais

Os dados relatados indicam que a opala encontrada no município de Pedro II tem uma origem hidrotermal, levando em consideração:

- ✓ o contexto geológico da mineralização, marcado pela associação entre a soleira de diabásio com os arenitos, sugere que o “emplacement” destes corpos básicos, através das fissuras pré-existentes, tenha sido o fator controlador da distribuição destas gemas no estado do Piauí.
- ✓ a paragênese da mineralização, definida por: por tremolita-actinolita, serpentina, titanita, biotita, clorita, epídoto, serpentina, topázio, turmalina, carbonato, albita, hematita, óxidos de Mn, pirita, caolinita, nontronita, barita, quartzo, calcedônia, opala-A, opala-C e opala-CT;

Dados essenciais ao modelo genético proposto para as opalas de Pedro II (Gomes, 1990) e Buriti dos Montes (Gomes, 2002) foram apresentados por Marques *et al.*, (2013; 2015), baseados em características físico-químicas das inclusões fluidas reveladas na microtermometria, assembléia mineralógica associada à opala, assinatura geoquímica das opalas, morfologia e mineralogia de suas inclusões sólidas, comprovando a gênese das opalas piauienses no ambiente hidrotermal.

A atividade termal resultante das manifestações subvulcânicas básicas em contato com os sedimentos arenosos paleozóicos da Bacia Sedimentar do Parnaíba, ativou o ambiente hidrotermal especial para formação de opalas, tendo distribuição regional. As ocorrências de quartzo (hialino, ametista, citrino, fumê, orion e leitoso), muito comuns em toda a região centro e norte do estado do Piauí, assim como as calcedônias, também são resultantes desta ambiência rica em sílica.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, F.F.M. de; CARNEIRO, C.D.R.; MACHADO JR, D. de L.; DEHIRA, L. K. Magmatismo pós-Paleozóico no nordeste oriental do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 451- 462, 1988.

CALDASSO, A. L. S.; HAMA, M. **Posicionamento estratigráfico das rochas básicas da Bacia do Parnaíba**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. Anais... Recife: SBG-Núcleo NE. v. 2. p. 567-578, 1978.

CARVALHO, L.M., BATISTA, I.H., FREITAS, L.C. B., CUNHA, F.L.B. 2010. Recursos Minerais. In: PFALTZGRAFF, P.A.S. (ed.). **Geodiversidade do estado do Piauí**. Recife, CPRM, p. 25-36

CASTRO, D.L. de, BEZERRA, F. H., FUCK, R. A., VIDOTTI, R. M. Geophysical evidence of pre-sag rifting and post-rifting fault reactivation in the Parnaíba basin, Brazil. **Solid Earth**, 7, 529–548, 2016.

CASTELO BRANCO, R.M.G. & PEDROSA JUNIOR, N. C. **Magmatismo Kimberlítico e suas Relações com o Lineamento Transbrasiliano: considerações geofísicas baseadas em dados aeromagnetométricos**. (Laboratório de Geofísica, Universidade Federal do Ceará). Thirteenth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2013.

CORDANI, U., PIMENTEL, M., GANADE, C. & FUCK, R. The Significance of the Transbrasiliano-Kandi corridor for the amalgamation of Western Gondwana. **Brazilian Journal of Geology**, 43(3): 583–597, 2013.

GADEA, M. Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay. **Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Parag.** Vol. 25, nº 1 (Jun. 2021): 10 0-100 1680-4031/2021 Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay. Publicado online: 14.vi.2021 50–62, 2021.

GOÉS, A. M. de O.; SOUZA, J. M. P. de; TEIXEIRA, L. B.– Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Bol. Geociência**, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 4 (1): 55 -64, 1990.

GÓES, A. M. de O.; TRAVASSOS, W. A. S.; NUNES, K. C. **Projeto Parnaíba - Reavaliação da Bacia e Perspectivas Exploratórias**. Belém: PETROBRÁS/DENOR, 1993.

GÓES, A. M. O; TRAVASSOS, W. A.; NUNES, K. C. **Projeto Parnaíba: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias**. Belém: Petrobrás, 1992. Relatório interno.

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

GOMES, E. R. **Contribuição à Mineralogia, Geoquímica e Gênese das Opalas de Pedro II, Piauí.** 1990. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) Departamento de Geoquímica e Petrologia / Centro de Geociências/ UFPA, Belém, 1990.

GOMES, E. R. **Mineralogia e Gemologia da Opala Laranja de Buriti dos Montes (Piauí, Brasil).** Belém: Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 89p. (Dissertação de Mestrado), 2002.

GOMES, E. R. & COSTA, M. L. da. 1992. **Contribuição à Gênese das Opalas de Pedro II (Piauí).** In: CONG. BRAS. GEOL., 37., São Paulo. *Anais ... São Paulo, SBG. v.2, p.116.*, 1992.

GOMES, E. R. & COSTA, M. L. da. **Contribuição à gênese das opalas de Pedro II (Piauí).** Revista da Sociedade Brasileira de Geoquímica, Belém, v. 8, n. 1, p. 79-98, 1994.

GOMES E.R. & COSTA M.L. **Inclusões sólidas na opala laranja de Buriti dos Montes, Piauí.** Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste, 19: 214, 2001a.

GOMES E.R. & COSTA M.L. **O Fogo do Piauí: uma Opala Laranja com 23.000 ct.** Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste, 19: 215, 2001b.

GOMES E.R. & COSTA M.L. **Opalas do Piauí, Pedro II – Buriti dos Montes (Parte II).** Diamond News, 8: 54-59, 2007.

GONZAGA, G.M., TOMPKINS, L. A. **Geologia do Diamante.** In: Schobbenhaus, C., Queiroz, E.T., Coelho, C.E.S (coords.), Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM/CPRM, Brasília, v. IV(A), p. 53-116, 1991.

JULIÃO, A. A Fratura Mãe. **Geologia.** FAPESP. São Paulo. Edição 236, pp:56-57, 2015.

MARQUES, G. T.; COSTA, M. L.; GOMES, E. R. **Modelo genético para as opalas do Piauí.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 3., 2013, Gramado. Boletim de resumos. Gramado1 CD-ROM, 2013.

MARQUES, G. T.; COSTA, M. L.; GOMES, E. R. Orange opals from Buriti dos Montes, Piauí: solid inclusions as genetic guides. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 68 (1), 053-059, jan. março, 2015.

MARTINS JR., F. L. **Aspectos genéticos das opalas preciosas de Pedro II, Piauí, Brasil.** Fortaleza, MBL - Mineração Brasileira Ltda, 10 p. (Relatório Interno), 1983.

NEN, L. H. B. de S. & URBANO FILHO, C. – 1974 – **A Opala Brasileira no Piauí**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. Resumos... Porto Alegre, SBG, Bol. N°1, p. 593 – 595.

OLIVEIRA, J.C. (ed.). **Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão**. Teresina, CPRM, 36 p. (Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas, nº 04), 1998.

OLIVEIRA J.C., CARDOSO C.E.T., QUINHO J.S., AMORIM H.J. **Projeto Opala em Pedro II (Relatório Final)**. DNPM/CPRM, Recife, 1979.

PETROBRÁS. Perfis Compostos dos Poços Perfurados na Bacia Sedimentar do Parnaíba. (Relatório Interno), Belém. DENOR/PETROBRÁS, 1963.

QUEIROZ, A.F. dos S., COSTA, M. L. da, GOMES, E.R. **Ocorrências de Quartz Leitoso e Esfumaçado na Região de Batalha, Estado do Piauí, Brasil**. BOMGEAM. Ano 6 (1), 2019.

ROSA, D. B. **Les gisements d'opales nobles de la region de Pedro II dans l'etat de Piauí, region nord-est du Brésil**. 230 p. Tese (Doutorado)– Universidade de Nancy, Nancy, 1988.

SACHS, L.L.B., BATISTA, I.H., BRAGA, I.F., AMARAL, E.S. **Projeto avaliação dos depósitos de opalas de Pedro II: estado do Piauí** – Teresina: CPRM, 88 p.: il.; 30 cm. – (Informe de Recursos Minerais. Série pedras preciosas), 2015.

SANTOS, R.I.D., CASTRO, D.L. de; BEZERRA, F.H.R., VIDOTTI, R.M., FUCK, R. A., DANTAS, E.L., LIMA, T.P.C. de. **Influência do Lineamento Transbrasiliano na formação do arcabouço estrutural da Bacia Parnaíba**. 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

SCHOBENHAUS FILHO, C., CAMPOS, D.A., DERZE, G.R., ASMUS, H.E. (coords.) **Texto Explicativo. Folha Goiás SD.22**. In: Schobbenhaus Filho, C. (coord.) **Carta Geológica do Brasil Milionésimo**. Brasília, DNPM, 1975.

FERREIRA, L., VIDOTTI, R.M.; ABREU, C.J.de; MAROTTA, G.S.; DANTAS, E.L. Água Bonita pull apart basin and its relationship to Transbrasiliano Lineament. **Journal of South American Earth Sciences**. Volume 89, Pages 63-75, January 2019.

THOMAZ FILHO, A., MIZUSAKI, A.M.P., ANTONIOLI, L. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(2 - suplemento): 128-137, junho de 2008

VAZ, P.T., REZENDE, N.das G. de A. da, WANDERLEY FILHO, J.R., TRAVASSOS, W.A.S. Bacia do Parnaíba. **Bol. Geociências**, Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, maio/nov. 2007

A GÊNESE HIDROTERMAL DA OPALA NO ESTADO DO PIAUÍ

VIDAL, F.W.H., MORAIS, M. G.N. de O., FREIRE, L.C., SANTOS, C.A.M. **As opalas de Pedro II no Piauí e o arranjo produtivo local.** CETEM/MCTI, Rio de Janeiro. 53p., 2018. (Série Rochas e Minerais Industriais, 23).

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

The Batalha (Piauí) quartz varieties and their relationship to the SiO₂ mineralizations (chalcedony and opals) in the Parnaíba Basin, Brazil

Alan Felipe dos Santos Queiroz¹, Marcondes Lima da Costa², Érico Rodrigues Gomes³

¹ Universidade Federal do Pará; alan.queiroz@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0003-4569-2816

² Universidade Federal do Pará; marcondeslc@gmail.com; ORCID: 0000-0002-0134-0432

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; erico.gomes@ifpi.edu.br ORCID: 0000-0002-1942-1396

RESUMO: Várias formações geológicas da Bacia do Parnaíba abrigam diversas ocorrências e depósitos de minerais de sílica (SiO₂), em especial quartzo, calcedônia e opalas. Essas ocorrências e depósitos são encontradas principalmente no município de Pedro II, estado do Piauí. Posteriormente foram encontradas no município de Batalha, ao norte desse estado, novas ocorrências de quartzo, nas variedades hialino, morion, esfumaçado, leitoso e citrino, além de ametistas. Com o intuito de entender melhor as ocorrências de quartzo na região, alguns habitantes nos procuraram para estudar essas ocorrências visando um possível aproveitamento. Os trabalhos envolveram uma etapa de campo com mapeamento e coleta de amostras, seguido da descrição, imageamento e lapidação dos cristais de quartzo visando seu beneficiamento. Os dados de campo mostram que as ocorrências de quartzo estão intimamente relacionadas com uma zona de alteração hidrotermal desenvolvida no contato entre arenitos e diabásio. Os cristais de quartzo ocorrem como agregados drúsicos preenchendo fratura no arenito próximo e/ou como cristais isolados em uma brecha hematítica. A associação geológica e mineralógica dos cristais e das rochas estudadas é relativamente simples e semelhante às ocorrências e depósitos de Pedro II e Buriti dos Montes, ambos situados na borda leste da bacia do Parnaíba.

Palavras-chave: Quartzo esfumaçado. Ametista. Diabásio. Sistema Hidrotermal.

ABSTRACT: The Parnaíba Basin is a geological unit that hosts several occurrences and deposits of SiO₂ minerals, especially quartz, chalcedony and opals, with highlight to the municipality of Pedro II, Piauí state. In the north of Piauí, in the municipality of Batalha, new occurrences of quartz were found, in the hyaline, morion, smoky, milky and citrine varieties, alongside the amethysts already known in the municipality. In order to better understand the occurrences of quartz in the region, some habitants approached us to study these occurrences with the objective of possible use. The work involved a field stage with mapping and sample collection, followed by description, imaging and cutting the quartz crystals. Field data show that the quartz occurrences are closely related to a hydrothermal alteration zone developed in the contact between sandstones and diabase. The quartz crystals occur as druse aggregates filling a fracture in the nearby sandstone and/or as isolated crystals in a hematite-rich breccia. The geological and mineralogical association of the crystals and rocks studied is relatively simple and similar to the occurrences and deposits of Pedro II and Buriti dos Montes, both located on the eastern edge of the Parnaíba Basin.

Keywords: Smoky quartz. Amethyst. Diabase. Hydrothermal System.

1 Introdução

O quartzo é um dos minerais gemológicos mais conhecidos e comercializados no mundo, isto ocorre devido a sua ampla variedade de cores atrelado a elevada dureza, que lhe confere resistência mecânica e durabilidade. O quartzo é um dos minerais mais abundantes no planeta Terra, podendo ocorrer nos mais variados tipos de ambientes geológicos e em diferentes tipos de rochas e/ou sedimentos. É constituído quimicamente pelo dióxido de silício, o qual é conhecido como sílica (SiO_2). É importante ressaltar que o quartzo é um polimorfo de sílica, junto da tridimita, cristobalita, stichovita e coesita, sendo diferenciado desses pela sua forma cristalina. Do ponto de vista cristalográfico, é um mineral do sistema hexagonal, subsistema romboédrico, classe trigonal trapezoédrica, com grau completo de simetria E3 e 3E2, cujo grau mínimo é 32 e onde o eixo cristalográfico “c” coincide com o eixo do sistema ternário (KLEIN & DUTROW, 2012). Em relação às variedades de quartzo, elas podem ser divididas em variedades macrocristalina e microcristalinas, podendo serem diferenciadas a partir da coloração e outras características morfológicas. Dentre as variedades de quartzo mais conhecidas tem-se: ametista, quartzo esfumaçado (fumê), cristal de rocha (hialino), citrino, quartzo leitoso, quartzo rosa e o quartzo morion.

O Brasil, nesse contexto, é um importante produtor de quartzo, em especial das variedades ametista e citrino, com destaque para o estado do Rio Grande do Sul, além da produção de Alto Bonito no estado do Pará e Brejo das Ametistas no estado da Bahia.

No Rio Grande do Sul, a ametista e o citrino, este último em grande parte produto da calcinação de ametistas de coloração fraca, procedem principalmente dos municípios de Ametista do Sul, Frederico Westphalen, Iraí e Cristal do Sul. Nesta região, essas variedades do quartzo ocorrem como geodos em diversas formas e tamanhos, alojados em bassaltos da Formação Serra Geral, frequentemente associadas à calcedônia, ágata e opala (JUCHEM, 1999; 2014; GILG *et al.* 2003; 2014; COMM-IN-FISCHER *et al.*, 2010; DIAS *et al.*, 2019).

Por outro lado, em relação às variedades de sílica hidratada, a exemplo das opalas, o estado do Piauí, se destaca como o maior produtor, tanto na variedade preciosa quanto na laranja, procedentes da produção garimpeira nos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes, respectivamente (Sachs *et al.* 2015). Estudos prévios demonstraram que essas opalas estão alojadas em rochas sedimentares, de idade Paleozóica, em contato com rochas maficas intrusivas, de idade Mesozóica, ambas situadas nos domínios da Bacia do Parnaíba (ROSA, 1988; GOMES & COSTA, 1994; OLIVEIRA, 1998; CARVALHO *et al.*, 2010; SACHS *et*

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

al., 2015; MARQUES *et al.*, 2015). As opalas dessa região são frequentemente encontradas com opala leitosa, quartzo em cristais centimétricos ou massas cristalinas, calcedônia e, mais restritamente, ametistas (CARVALHO *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2015).

Dentre os outros municípios do Piauí com ocorrências de minerais de sílica, como opala, calcedônia, quartzo hialino, quartzo róseo, quartzo esfumaçado e ametista, pode-se mencionar Várzea Grande, Nazaré do Piauí, Barras, Paulistana e Batalha (CPRM, 1997). Em Batalha estão localizadas as ocorrências mais importantes de ametista do estado, nos garimpos de Porco e de Veados (CPRM, 1997; OLIVEIRA, 1998). Estudos recentes efetuados por Queiroz *et al.*, (2019), na porção noroeste de Batalha, descrevem novas ocorrências de variedades de quartzo.

O presente trabalho complementa aquele de Queiroz *et al.* (2019), ao detalhar a configuração geológica e mineralógica das ocorrências de quartzo de Batalha, no Estado do Piauí, no sentido de elucidar sua gênese e possível relação com as demais mineralizações de SiO₂, principalmente opala, calcedônia e quartzo hialino, a exemplo da região de Pedro II e Buriti do Montes.

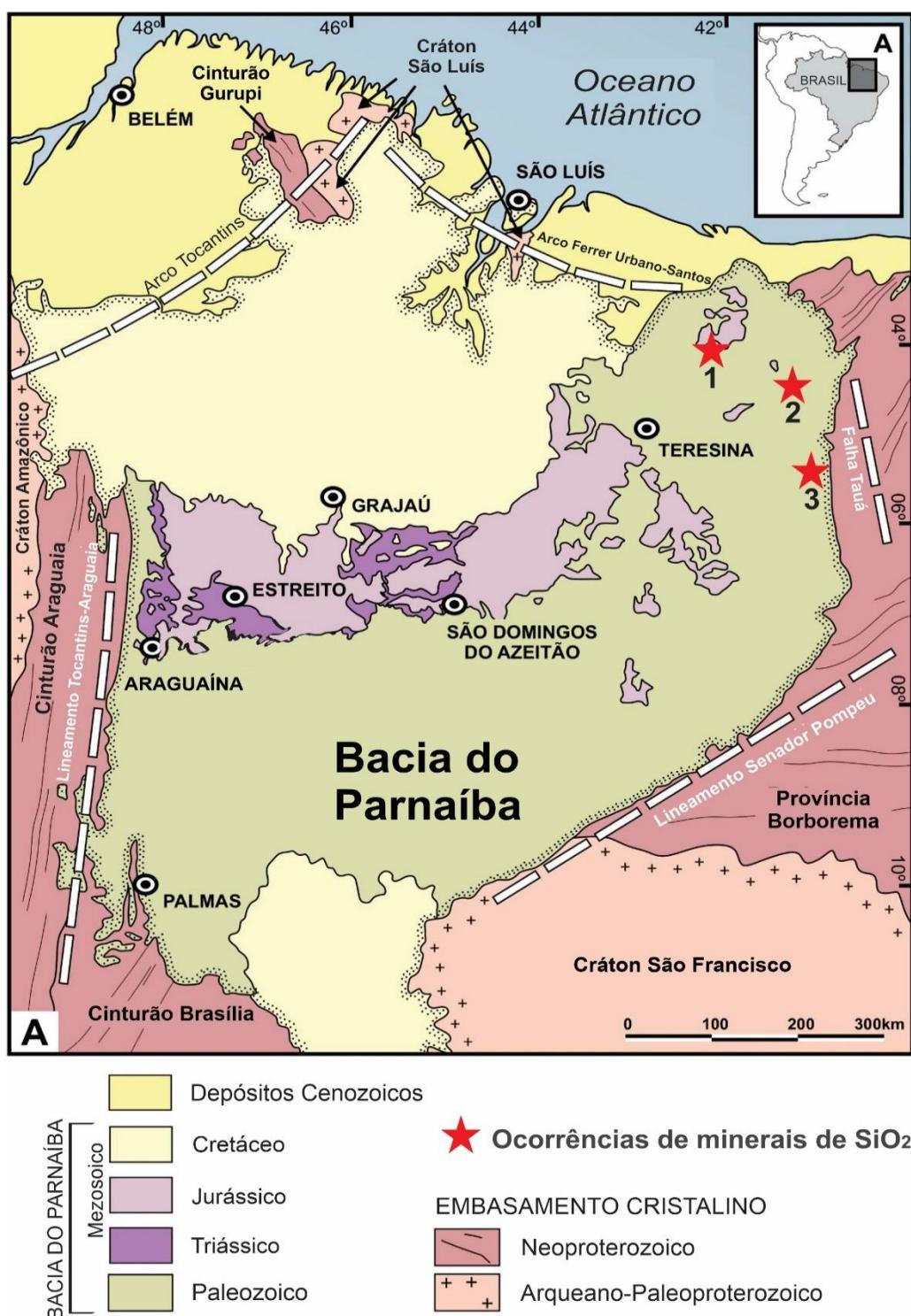
2 Contexto geológico

2.1 Geologia regional e localização das mineralizações

A área de estudo está inserida no contexto da Bacia do Parnaíba (Figura 1). Essa bacia é uma unidade geotectônica que abrange grande parte dos estados do Piauí e do Maranhão, além de algumas porções dos estados do Ceará, Tocantins, Pará e Bahia (GÓES & FEIJÓ, 1994; GÓES, 1995; VAZ *et al.*, 2007). Ela foi preenchida por rochas sedimentares e magmáticas, compartimentadas em 5 Supersequências: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (Formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru), todas separadas entre si por discordâncias regionais e recortadas pelo magmatismo básico das Formações Mosquito e Sardinha (VAZ *et al.*, 2007).

Figura 1. Localização das principais ocorrências de minerais de sílica (SiO₂) no contexto da Bacia do Parnaíba. Em A) localização dos principais depósitos e

ocorrências de minerais de sílica. (1) Batalha: quartzo; (2) Pedro II: opala, quartzo e calcedônia; e (3) Buriti dos Montes: opala, quartzo e calcedônia.



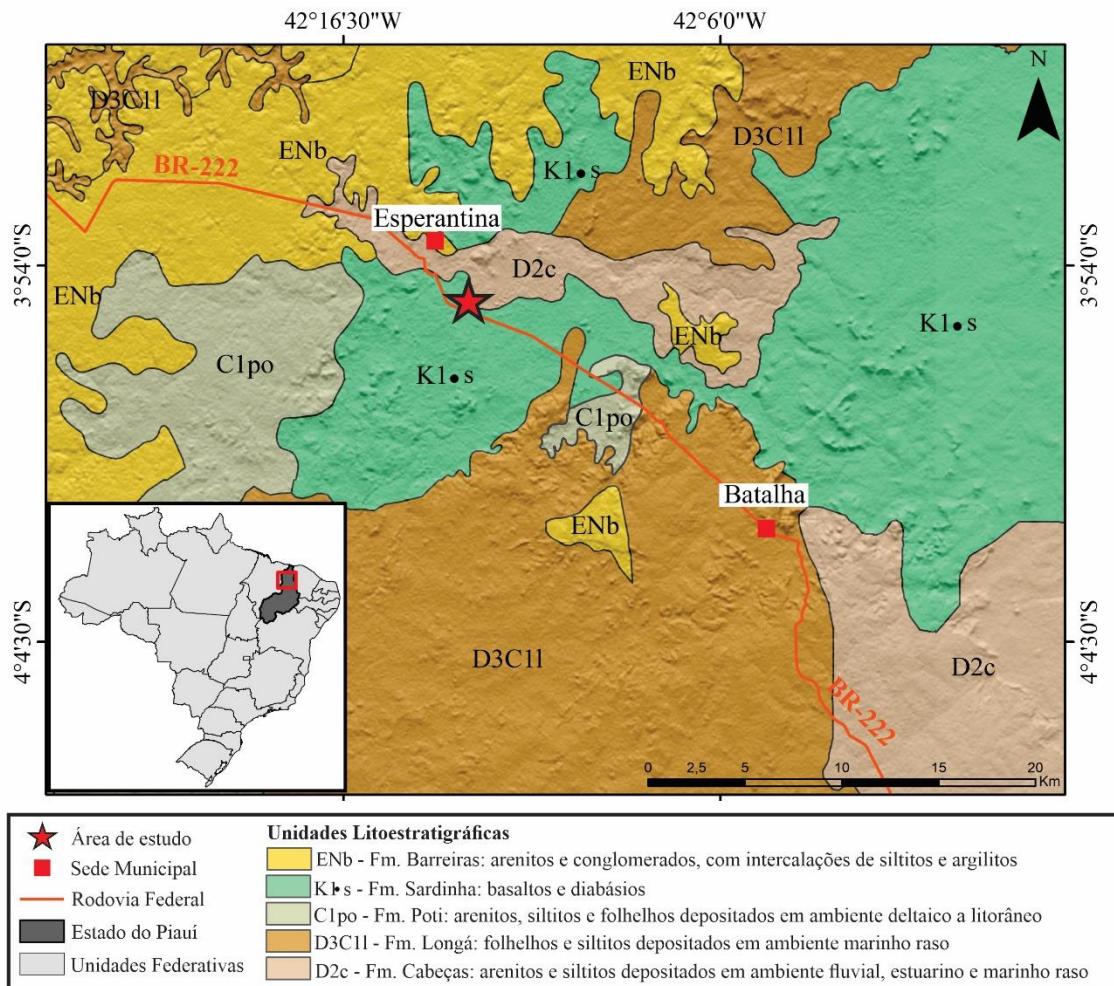
Fonte: Adaptado de Abrantes Jr. *et al.* (2019).

O local de estudo está localizado na porção noroeste do município de Batalha, em uma propriedade particular, próximo à fronteira com o município de Esperantina-PI e a aproximadamente 148 Km a nordeste da capital do estado, Teresina-PI. O acesso ocorre por

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

meio da rodovia federal BR-222 e está próximo à entrada da estrada que dá acesso ao ponto turístico da Cachoeira do Urubu, entre os municípios Batalha e Esperantina (Figura 2).

Figura 2. Mapa geológico simplificado da região de estudo no município de Batalha-Piauí com a indicação das ocorrências de minerais de sílica deste trabalho (indicado pela estrela vermelha).



Fonte: Adaptado de Queiroz *et al.* (2019).

3 Materiais e métodos

As atividades de campo e laboratório foram precedidas por levantamento bibliográfico sobre as mineralizações de quartzo hidrotermal no estado do Piauí e na região de Batalha, seguida da consulta sobre a geologia, distribuição e modo de ocorrência dessas mineralizações. Em seguida se realizou a atividade de campo incluindo mapeamento esquemático dos veios de quartzo e coleta de amostras representativas. Estas, já nos laboratórios, foram descritas e imageadas, geral e em detalhe, o que permitiu selecionar 12

amostras de quartzo, sem inclusões ou fraturas perceptíveis a olho nu, para lapidação (modelamento, corte e polimento) nas instalações do Pólo Joalheiro, em Belém, Pará. As formas escolhidas foram cabochão, gota e navete.

4 Resultados e discussão

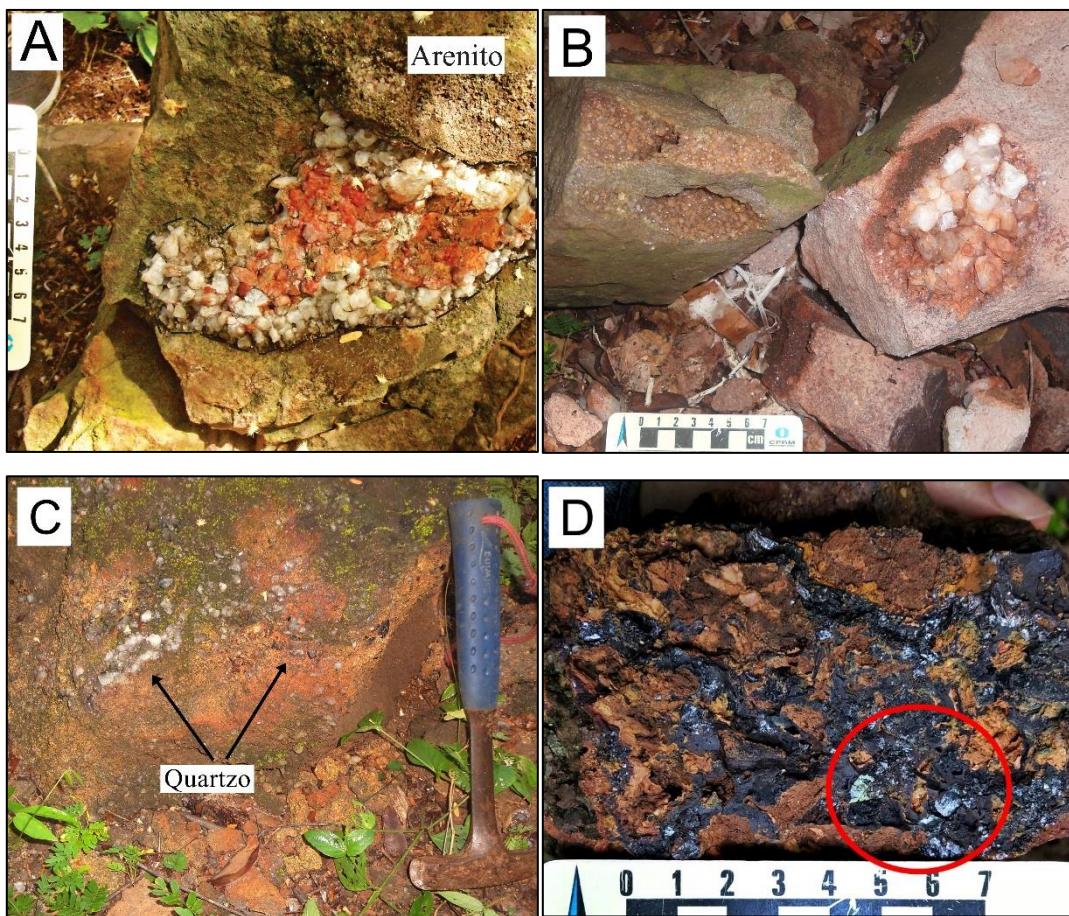
4.1 Modo de ocorrência do quartzo

O quartzo de Batalha ocorre principalmente como veios, preenchendo cavidades e fraturas, hospedados entre as rochas arenosas da Formação Cabeças (Grupo Canindé) e as rochas intrusivas da Formação Sardinha. Os veios e fraturas nessa zona apresentam uma orientação predominante para NE-SW e ENE-WSW. Ocorrem as variedades hialino (por vezes com inclusões de hematita), leitoso, ametista, citrino, fumê e morion, em geral, como agregados drúsicos e/ou como cristais isolados. Conforme foi observado por Queiroz *et al.* (2019), o arenito hospedeiro se apresenta zonado nas proximidades do contato com a rocha intrusiva. Este zoneamento é marcado pelo desaparecimento de estruturas sedimentares, como laminações plano-paralelas e laminações de cruzadas e de baixo ângulo, e pelo aumento progressivo do número de fraturas e de recristalização dos grãos de quartzo, fornecendo um aspecto maciço e endurecido ao arenito. Além dos veios e vênulas constituídos essencialmente por quartzo (Figuras 3A e 3B), há a presença de veios centimétricos de material cinza escuro a marrom avermelhado, brechóide, constituídos por cristais euédricos a subédricos de quartzo e por um cimento de oxi-hidróxidos de ferro (Figuras 3C e 3D).

Figura 3. Aspectos gerais das ocorrências de quartzo em Batalha-Piauí. A) Drusa de quartzo hialino, com porções leitosas e inclusões/películas vermelhas, preenchendo fratura no arenito Cabeças; B) Drusas de quartzo hialino preenchendo cavidades no arenito Cabeças, com destaque para a porção recristalizada do contato entre o arenito e a drusa (seta vermelha); C) Material brechóide, de cor marrom avermelhada, portadora de cristais de quartzo, nas variedades hialino e esfumaçado, ambas com porções leitosas; D) Amostra de

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

mão da porção cinza escura do material brechóide, hematítico, com destaque para os cristais de quartzo, de brilho vítreo.



Fonte: Adaptado de Queiroz *et al.* (2019).

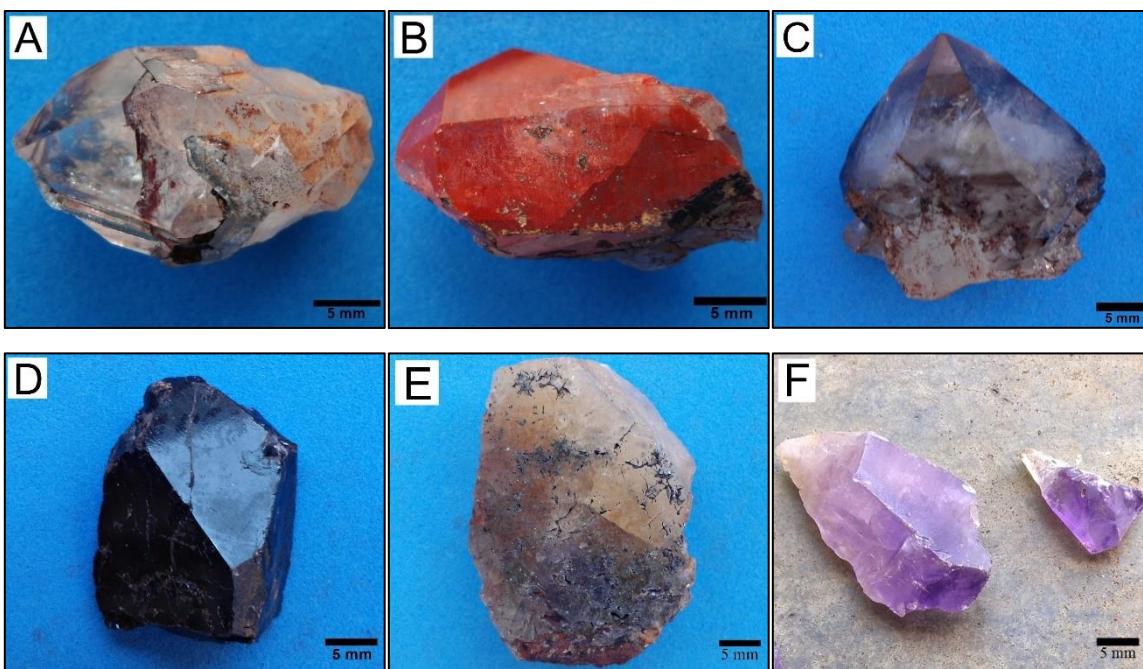
O quartzo exibe cristais incolores e/ou com cores diversas, como branco, vermelho, cinza, preto, amarelo e violeta (Figura 4). Em todos os cristais, a distribuição e a zonação da cor são irregulares e o tamanho dos cristais variam de milímetros a centímetros. Em geral, as formas são predominantemente subédricas, com prismas curtos e terminações romboédricas relativamente desenvolvidas. Nos cristais são bastante frequentes a presença de fraturas, além de inclusões fluidas e sólidas, estas últimas representadas por relictos de arenito, cristais de hematita, goethita e caulinita.

Em relação a distribuição das variedades, observou-se que os cristais hialinos, leitosos e ametistas estão intimamente associados e ocorrem com mais frequência no arenito, onde apresentam formas subédricas, de hábito drusiforme. Alguns cristais podem apresentar um intercrescimento, onde a base é constituída pela variedade leitosa e a porção apical é constituída pelo hialino e/ou ametista. Apesar da relação com as variedades leitosa e hialina,

a ametista se apresenta de forma subordinada e restrita no local de estudo. Uma característica marcante nesses cristais é a presença de muitas inclusões de hematita, conferindo, por vezes, uma coloração avermelhada para os cristais (Figura 4B). A ametista, por sua vez, apresenta cristais centimétricos e uma distribuição irregular da cor, com diferentes tonalidades de violeta (Figura 4F).

As variedades esfumaçadas (Figura 4C), morion (Figura 4D) e citrino (Figura 4E) também estão associados e ocorrem com mais frequência no material brechóide, aqui denominado de brecha, onde exibem tamanhos milimétricos a centimétricos, com formas subédricas e desenvolvimento apenas das terminações romboédricas, sem os prismas. Essas variedades estão envolvidas por uma fina película de material hematítico. Internamente os cristais encontram-se muito fraturados, cheios de inclusões e com distribuição irregular da cor, podendo apresentar muitas variações de tonalidade em um mesmo cristal.

Figura 4. Variedades coloridas do quartzo encontradas na fazenda Caraíba, porção noroeste do município de Batalha. Em (A) hialino (incolor); (B) hialino com inclusões de hematita; (C) esfumaçado; (D) morion; (E) citrino e (F) ametista.



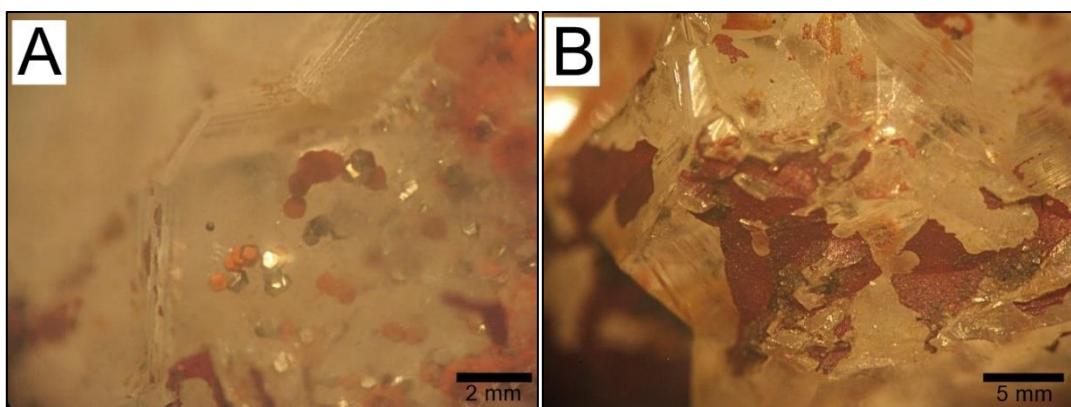
Fonte: Acervo do autor.

Em todas as variedades, a hematita e a goethita são as inclusões sólidas mais comuns, exibindo cores vermelha a cinza, brilho terroso a metálico e hábitos oolítico e/ou botrioidal. Algumas inclusões de hematita se apresentam como cristais romboédricos (figura 5). Foram observadas também algumas inclusões fluidas, com tamanhos e formas irregulares,

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO_2 (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

orientadas, estiradas e com indícios de estrangulamento, entretanto, as mesmas não foram investigadas em maior detalhe neste trabalho. Fraturas e manchas de cor são outras feições internas recorrentes, apresentando-se de forma pontual e/ou orientada e influenciando diretamente na distribuição da cor. As fraturas são abundantes em grande parte dos cristais, sendo comum a presença de películas de hematita nesses planos de fratura (Figura 5B).

Figura 5. Feições internas presentes nos cristais de quartzo. Em A) Inclusões oolíticas e romboedrais de hematita no quartzo; B) Películas de hematita presente na superfície e nos planos de fratura nos cristais de quartzo.



Fonte: Acervo do autor.

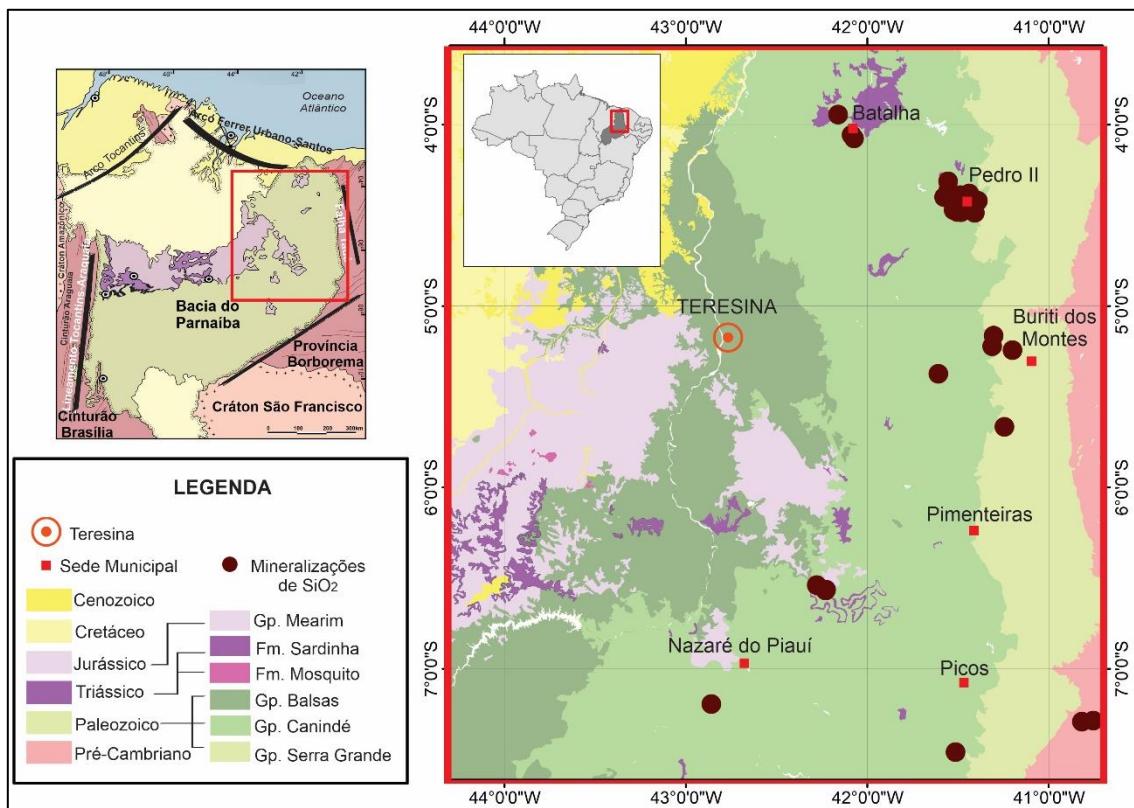
4.2 Modo de ocorrência de quartzo no estado do Piauí

A maior parte das mineralizações de quartzo no Piauí está relacionada a uma zona de contato entre as rochas sedimentares arenosas dos Grupos Serra Grande e Canindé e de rochas ígneas maficas, em especial o diabásio da Formação Sardinha, ambos inseridos na Bacia do Parnaíba (Figura 6). Essas mineralizações de quartzo ocorrem como drusas ou agregados drúsicos, preenchendo veios, vênulas, bolsões e/ou cavidades tanto nas rochas sedimentares quanto nas ígneas e geralmente na região próxima ao contato entre as duas. A orientação dos veios e as cavidades é fortemente controlada e apresentam uma direção predominante para NE-SW e ENE-WSW.

A ocorrência dessas mineralizações foi identificada em diversos municípios do Piauí, como em Batalha, Buriti dos Montes, Castelo do Piauí, Campo Maior, Cocal, Esperantina, Pedro II, Piripiri, etc., e as principais variedades descritas na literatura são o quartzo hialino, rosa, leitoso, ametista e o quartzo rutilado (LIMA & LEITE, 1978; GOMES & COSTA,

1994; OLIVEIRA, 1998; GOMES, 2002). Dentre esses municípios, as maiores e mais conhecidas ocorrências estão localizadas em Batalha, Pedro II e Buriti dos Montes.

Figura 6. Mapa de distribuição das mineralizações de sílica na borda leste da Bacia do Parnaíba, com base nos dados publicados na literatura.



Fonte: Elaboração do autor.

O município de Batalha é conhecido por suas ocorrências e garimpos de ametista, em que cristais de até 60 cm já foram relatados (CPRM, 1997), além das variedades hialino e leitoso, com tamanhos variando de 1 cm até 10 cm, ocorrendo preenchendo veios e fraturas (OLIVEIRA, 1998). Em Pedro II e Buriti dos Montes, por sua vez, são exploradas por garimpagem simples e mecanizada, opalas preciosas e laranja e calcedônias, muito apreciadas no mercado gemológico. Essas mineralizações estão frequentemente associadas com quartzo, nas variedades hialino, leitoso e ametistas, cujos cristais podem conter ainda inclusões de hematita, caulinita e/ou barita. O quartzo nessas mineralizações ocorre de semelhante ao das mineralizações de Batalha, preenchendo veios e cavidades, diferenciando-se apenas pela associação e pelo predomínio das opalas e calcedônias em relação ao quartzo.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

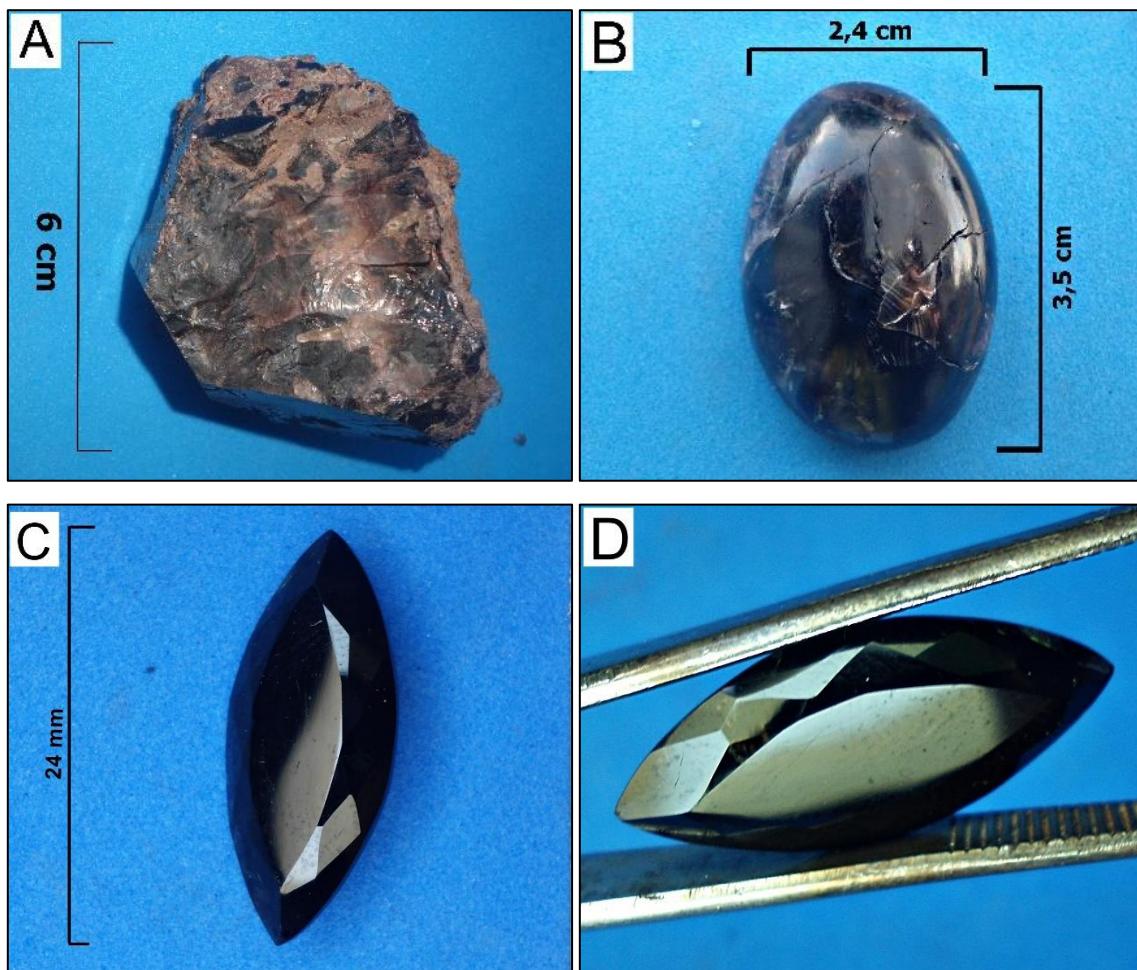
4.3 Aplicações

Essas ocorrências de quartzo apresentam potencial para uso como gemas, no artesanato mineral e para colecionadores em decorrência de sua ampla variedade de cores e tamanhos dos cristais. O seu modo de ocorrência geológica, como mencionado anteriormente, é relativamente simples, o que permite sua fácil extração, em que o alto grau de fraturamento da rocha hospedeira facilita o trabalho dos prospectores.

Para o processo de beneficiamento, constatou-se que a distribuição da cor nos cristais é relativamente regular, porém o alto grau de fraturamento e o grande número inclusões e de películas (Figuras 5A e 5B) contribuem significativamente para a fragilidade mecânica e para a formação de irregularidades na superfície dos cristais nos processos de beneficiamento, como lapidação e polimento (Figuras 7A, 7B e 7C). Alguns cristais apresentam um bom desempenho após a lapidação e exibiram uma superfície semi-lisa a lisa, com poucas irregularidades (Figuras 7D e 7E).

Figura 7. Amostras de quartzo utilizadas no teste de lapidação. Em A) Amostra jn natura (bruta). B) Amostra de quartzo com forma em cabochão. C) Quartzo com

lapidação em navete. D) Detalhe do brilho vítreo do quartzo e opacidade dos cristais após a lapidação.



Fonte: Acervo do autor

4.4 Gênese das mineralizações

Em termos gerais, os dados aqui apresentados quando comparados com aqueles já publicados para a região do município de Pedro II (GOMES & COSTA, 1994; SACHS *et al.*, 2015) e Buriti dos Montes (GOMES, 2002; MARQUES, 2014), demonstram uma forte semelhança geológica entre si, e ainda com Buriti dos Montes, ambos situados na porção leste da Bacia Sedimentar do Parnaíba. O que sugere mesmo processo genético de formação dessas mineralizações. Dentre as características mais comuns entre essas mineralizações estão a associação de minerais de sílica (SiO_2) com rochas arenosas e um diabásio/basalto hidrotermalizado. É comum junto a zona de contato das mineralizações, zoneamento e recristalização do arenito, em que a zona de maior transformação está próxima ao contato com o diabásio e/ou basalto.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

O modelo hidrotermal para essas mineralizações em Pedro II e Buriti dos Montes foi proposto principalmente por Gomes & Costa (1994), Gomes (2002) e Marques (2014), o qual é extensível então à região de Batalha, contribuindo para o desenvolvimento das opalas e das variedades macro e microcristalina do quartzo. Segundo este modelo, durante o alojamento dos diques e soleiras de diabásio da Formação Sardinha nos arenitos dos grupos Serra Grande e Canindé houve uma intensa troca de calor do magma com os fluidos aquosos presentes nos poros dos arenitos, proporcionando a criação de um sistema hidrotermal (GOMES & COSTA 1994; MARQUES, 2014). A boa porosidade e permeabilidade dessas rochas atrelada ao conjunto de fraturas desenvolvido por essas intrusões, teriam facilitado a percolação de fluidos aquosos quentes e subsalinos, dissolvendo parcialmente os grãos de quartzo do arenito e enriquecendo o fluido em sílica. Após o resfriamento do fluido rico em sílica (SiO₂), ao saturar-se se precipitou na forma de opala e quartzo micro a macrocristalino (GOMES & COSTA, 1994; MARQUES, 2014).

Ao considerar o modo de ocorrência dessas mineralizações junto dos modelos genéticos propostos e os registros de intrusões maficas em arenitos com alteração hidrotermal associada (GOMES & COSTA, 1994; CPRM, 1997; OLIVEIRA, 1998; CARVALHO *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2015; SACHS *et al.*, 2015; MOCITAIBA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018; MILOSKI *et al.*, 2019; 2020), entende-se que esse sistema hidrotermal possa apresentar uma extensão muito maior do que é conhecido até o dias atuais, podendo também apresentar um grande potencial de descoberta de novas mineralizações de SiO₂ por toda a borda leste da Bacia do Parnaíba.

3 Considerações finais

Os dados geológicos e mineralógicos aqui apresentados demonstram uma grande semelhança das ocorrências de quartzo de Batalha com as mineralizações de quartzo, opala e calcedônia de Pedro II e Buriti dos Montes. Ressalta-se aqui a importância do hidrotermalismo na gênese dessas ocorrências, comprovada por evidências de campo, texturais e mineralógicas. A presença de uma distribuição irregular da cor e de inúmeras feições internas nos cristais, como inclusões, fraturas e manchas de cor influenciam negativamente no processo de beneficiamento envolvendo a lapidação desses materiais. No entanto, recomenda-se investigar a utilização desses cristais como matéria-prima para o artesanato mineral. Salienta-se, por fim, que o modo de ocorrência relativamente simples, e

que associa as inúmeras mineralizações na borda leste da Bacia do Parnaíba, abre perspectivas para novas descobertas e exploração comercial, tal como já ocorre na região de Pedro II.

Referências bibliográficas

ABRANTES JR., F.R; NOGUEIRA, A.C.R., ANDRADE, L.S.; BANDEIRA, J.; SOARES, J.L; MEDEIROS, R.S.P. **Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangaea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin**, Northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 93: 294–312. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.006>.

CARVALHO, L.M.; BATISTA, I.H.; FREITAS, L.C.B.; CUNHA, F.L.B. **Recursos Minerais**. In: PFALTZGRAFF, P.A.S. (ed.). *Geodiversidade do estado do Piauí*. Recife, CPRM, 25-36. 2010

COMM-IN-FISCHER, A.; BERGER, G.; POLVÉ, M.; DUBOIS, M.; SARDINI, P., BEAUFORT, D.; FORMOSO, M. **Petrography and chemistry of SiO₂ filling phases in the amethyst geodes from the Serra Geral Formation deposit, Rio Grande do Sul, Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 29: 751–760. 2010 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.10.002>.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Pedras Preciosas PI/MA**. Relatório Técnico Anual. Diretoria de Recursos Minerais, Teresina, CPRM, 10 p. 1997.

DIAS, C.H.; CARNEIRO, M.L.S.; JUCHEM, P.L.; ROMANO, A.W. **Ocorrências de ametista em basaltos do Triângulo Mineiro (Minas Gerais): descrição e comparações com depósitos similares do Rio Grande do Sul**. *Pesquisas em Geociências*, 46 (3): 20. 2019. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.97385>.

GILG, H.A.; KRÜGER, Y.; TAUBALD, H.; KERKHOF, A.M.; FRENZ, M.; MORTEANI, G. **Mineralisation of amethyst-bearing geodes in Ametista do Sul (Brazil) from low-temperature sedimentary brines: evidence from monophase liquid inclusions and stable isotopes**. *Mineral. Deposita* 49: 861–877. 2014. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0522-7>.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

GILG, H.A.; MORTEANI, G.; KOSTITSYN, Y.; PREINFALK, C.; GATTER, I.; STRIEDER, A.J. **Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral Formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil):** a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. *Mineral. Deposita*, 38: 1009–1025. 2003. <https://doi.org/10.1007/s00126-002-0310-7>.

GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 204 p. 1995.

GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. **Bacia do Parnaíba**, Rio de Janeiro: Boletim de Geociências da Petrobrás, 8 (1): 57-67. 1994.

GOMES, E.R. **Mineralogia e gemologia da opala laranja de Buriti dos Montes (Piauí, Brasil).** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 89 p. 2002.

GOMES, E.R. & COSTA, M.L. **Contribuição à mineralogia, geoquímica e gênese das Opalas de Pedro II (Piauí).** *Geochimica Brasiliensis*, 8 (1): 79-98. 1994.

JUCHEM, P.L. **Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da região de Alto Uruguai, Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 224p. 1999.

JUCHEM, P.L. **Amethyst mineralization in rhyodacites of the Serra Geral Group.** In: Hartmann, L.A., Baggio, S.B.B. (Orgs.) *Metallogeny and crustal evolution of the Serra Geral Group*. Ed. Instituto de Geociências/UFRGS, Porto Alegre, pp. 321-334. 2014.

KLEIN, C. & DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais.** Bookman. 23rd ed. Porto Alegre. 796p. 2012.

LIMA, E. de A. M.; LEITE, J. F. Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba, MME; DNPM; CPRM, Recife: 1978. 16v.

MARQUES, G.T. Opalas Gemológicas do Piauí: Gênese revelada por microtermometria e minerais associados. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, 84 p. 2014.

MARQUES, G.T.; COSTA, M.L.; GOMES, E.R. Orange opals from Buriti dos Montes, Piauí: solid inclusions as genetic guides. Revista Escola de Minas (REM), 68 (1): 53-59. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015680203>.

MILOSKI, P.; MENDES, J.C.; ALMEIRA, C.N.; VALENTE, S.C.; MEDEIROS, S.R. Petrogenesis of continental flood basalts in eastern Parnaíba basin, Brazil: A singular sill occurrence with low- and high-TiO₂ tholeiites. Journal of South American Earth Sciences, 94: 1-22. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.05.008>.

MILOSKI, P.; VALENTE, S.C.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, C.N.; NEGRI, F.A.; MEDEIROS, S.R.; MIRANDA, A.W.; CORVAL, A.; BORGHI, L. Petrogenesis of the Low-TiO₂ Batalha Suite in the eastern Parnaíba basin, northeastern Brazil. International Journal of Earth Sciences. 109: 785–807. 2020. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01829-5>.

MOCITAIBA, L.S.R.; CASTRO, D.L.; OLIVEIRA, D.C. Cartografia geofísica regional do magmatismo mesozoico na Bacia do Parnaíba. Geologia USP, Série científica, 17 (2): 16-192. 2017 <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v17-455>.

OLIVEIRA, A.L.; PIMENTEL, M.M.; FUCK, R.A.; OLIVEIRA, D.C. Petrology of Jurassic and Cretaceous basaltic formations from the Parnaíba Basin, NE Brazil: correlations and associations with large igneous provinces. Geological Society, London, Special Publications, 472: 273-308. 2018. <http://dx.doi.org/10.1144/SP472.21>.

As variedades de quartzo de Batalha (Piauí) e sua associação com as mineralizações de SiO₂ (calcedônias e opalas) na Bacia do Parnaíba, Brasil

OLIVEIRA, J.C. (ed.). **Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão**. Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas, nº 04. Teresina, CPRM, 36 p. 1998.

QUEIROZ, A.F.S.; COSTA, M.L.; GOMES, E.R. **Ocorrências de Quartzo leitoso e esfumaçado na região de Batalha, Estado do Piauí, Brasil**. Boletim do Museu de Geociências da Amazônia (BOMGEAM), 6: 1-13. 2019.
<https://doi.org/10.31419/ISSN.2594-942X.v62019i1a1AFSQ>

ROSA, D.B. **Les gisements d'opales nobles de la region de Pedro II, dans l'estat de Piauí**. These de Docteur. L'Institut National Polytechnique de Lorraine/ Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, 327 p. 1988.

SACHS, L.L.B.; BATISTA, I.H.; BRILHANTE, J.R. BRAGA, I.F.; AMARAL, E.S.; LEITÃO, G.V. **Projeto avaliação dos depósitos de opalas de Pedro II: estado do Piauí**. Informe de Recursos Minerais: Série Pedras Preciosas, 8. 88p. 2015.

VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; FILHO, J.R.W.; TRAVASSOS, W.A.S. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, 15 (2): 253-263. 2007.

Agradecimentos:

À Sra. Rosana de Carvalho Sousa, proprietária da Fazenda Caraíbas (Batalha-PI), pela hospitalidade, apoio nos trabalhos de campo e pela concessão de uma bolsa de iniciação científica ao primeiro autor durante um período de 8 meses e ao CNPq pelo apoio financeiro, por meio da taxa de bancada do segundo autor (Processo 305015/2016-8).

AS OPALAS DE PEDRO II E BURITI DOS MONTES, PIAUÍ

The Opals of Pedro II and Buriti dos Montes, Piauí, Brazil

Érico Rodrigues Gomes¹, Marcondes Lima da Costa² & Gisele Tavares Marques³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí;
erico.gomes@ifpi.edu.br ORCID: 0000-0002-1942-1396

² Universidade Federal do Pará; marcondeslc@gmail.comr;
ORCID: 0000-0002-0134-0432

³ Universidade Federal do Pará; gisele.ufpa@gmail.com;
ORCID: 0000-0003-3122-259X

RESUMO: A opala, palavra originada na língua sagrada dos hindus, do termo *upala*, significa pedra preciosa. Esta gema tem encantado pessoas através da história pela variedade de lampejos coloridos, inigualáveis no reino mineral. Este artigo tem como objetivo apresentar as opalas encontradas nos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes, Piauí, Brasil, as quais produzem opalas de qualidade desde a década de 1940. Em função de suas gênese hidrotermais, possuem características gemológicas únicas. Em Pedro II são encontradas *light opal* (a mais frequente), opala *boulder*, *boulder* matriz, opala negra (rara) e as opalas compostas (dublets e triplets) exibindo os padrões de jogo de cores *pinfire* (capotinha), *block*, *flagstone*, *jigsaw*, *flash fire*, *broad flash* (fogão), *tiger*, *ribbon*, *arlequim*, *arlequim flag* e *rolling flash*. Em Buriti dos Montes ocorre a opala laranja (opala de fogo ou *jelly*), exibindo os matizes de cores amarelo-claro água, amarelo-claro, amarelo, amarelo-laranja, laranja, laranja-avermelhado, vermelho, vermelho-escuro e vermelho-amarronzado; também foram encontradas opalas na cor azul-claro e branca. É necessário que ocorram mais pesquisas para serem conhecidas as potencialidades e características gemológicas das opalas encontradas em diversos municípios piauienses.

Palavras-chave: Opala brasileira. Opala piauiense. Gênese hidrotermal

ABSTRACT: Opal, a word originated in the sacred language of the Hindus, from the term *upala*, means precious stone. This gem has enchanted people throughout history for its variety of colorful flashes, unmatched in the mineral kingdom. This article aims to present the opals found in Pedro II and Buriti dos Montes, Piauí, Brazil, which produce quality opals since the 1940s. Due to their hydrothermal genesis, they have unique gemological characteristics. In Pedro II are found light opal (the most frequent), boulder opal, matrix boulder, black opal (rare) and composite opals (doubles and triplets) exhibiting the color play patterns pinfire (little cowl), block, flagstone, jigsaw, flash fire, broad flash (stove), tiger, ribbon, harlequin, harlequin flag and rolling flash. In Buriti dos Montes, the orange opal (fire opal or *jelly*) occurs, exhibiting the hues of light yellow water, light yellow, yellow, yellow-orange, orange, reddish-orange, red, dark red and red. brownish; pale blue and white opals were also found. More research is needed to discover the potential and gemological characteristics of opals found in several municipalities in Piauí.

Keywords: Brazilian opal. Opal from Piauí. Hydrothermal genesis.

1. Introdução

AS OPALAS DE PEDRO II E BURITI DOS MONTES, PIAUÍ

A opala é uma das gemas que mais tem exercido fascínio ao longo da história das civilizações, seduzindo e hipnotizando olhares intrigados e encantados com a magia de suas cores e beleza. O nome opala é derivado do termo *upala* - do sânscrito, língua sagrada dos sacerdotes hindus - que significa pedra preciosa. O seu brilho e a variedade de lampejos coloridos são inigualáveis no reino mineral, sendo considerada pelos mineralogistas, gemólogos, colecionadores e joalheiros, como a rainha e a mais bela de todas as gemas.

Há registros pré-históricos quenianos, gregos, romanos, egípcios, aborígenos australianos, povos pré-colombianos no México e América Central com um rico acervo de estátuas de deuses e joias contendo opalas.

O encantamento dos imperadores romanos pelas opalas foi traduzido pelo imperador Plínio, considerado o primeiro gemólogo do mundo, quando declamou:

"o vermelho apaixonado do rubi,
o verde magnífico da esmeralda,
o amarelo dourado do topázio,
o azul profundo da safira
e as ricas cores púrpuras da ametista
se encontram em uma única opala preciosa"

(Suwa, 1994).

As ocorrências de opalas preciosas e opalas laranjas (conhecidas como opalas de fogo), eram apreciadas pelos Astecas, que esculpiram o "Deus Sol" numa opala preciosa, laureada por labaredas de ouro (GRANDE & AUGUSTYN, 2009).

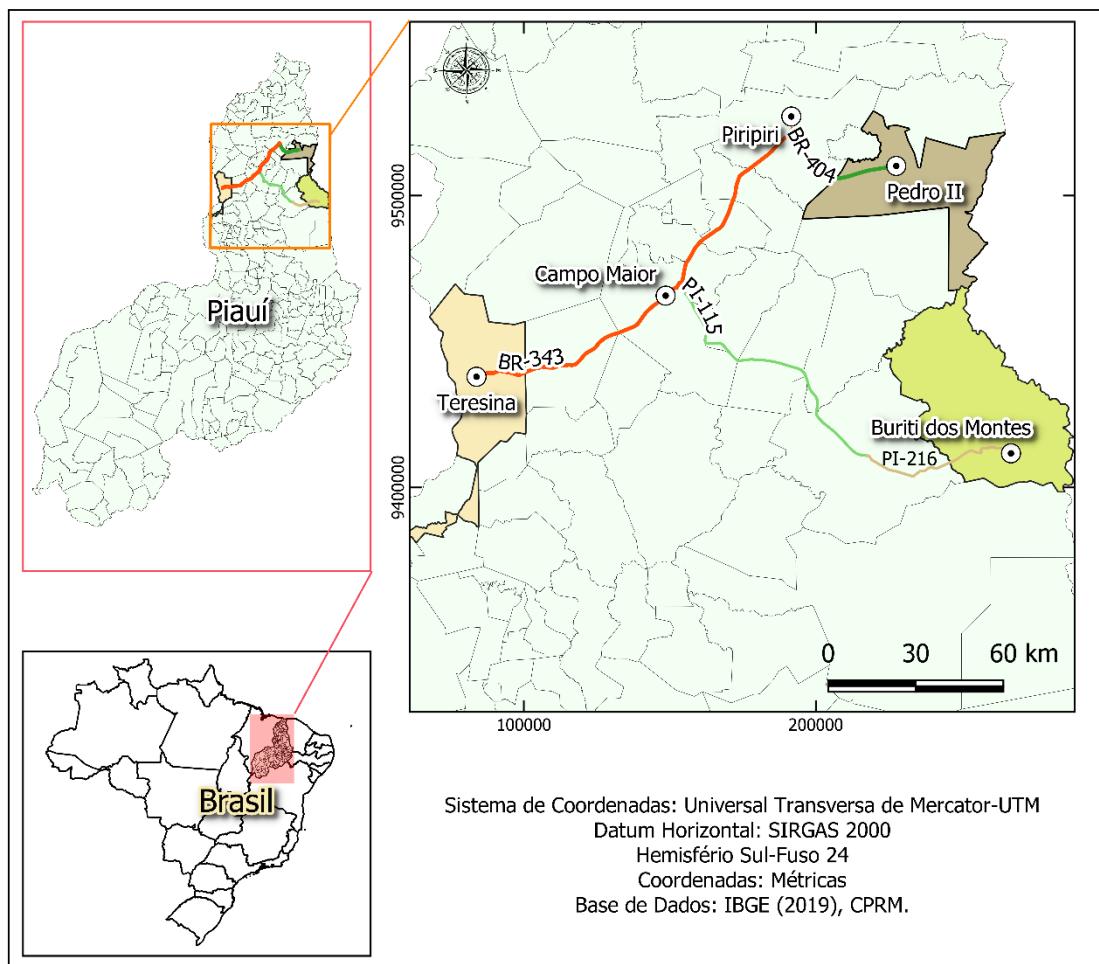
As rainhas inglesas Elizabeth I (1533-1603) e Victoria (1837-1901), usavam luxuosos conjuntos de joias com opalas. O imperador francês, Napoleão Bonaparte (1769-1821), presenteou sua imperatriz Josephine de Beauharnais com a maior e mais valiosa opala de sua época, a opala *Burning of Troy*, que exibia um exuberante jogo de cores vermelho ardente (NAEA, 2011).

Também há ocorrências de opalas nos Estados Unidos, Canadá, Honduras e Peru. Curtis *et al.* (2019) relatam que surgiram novas opalas no mercado, provenientes de Madagascar, Indonésia, Tanzânia e Turquia. Na Austrália, foram descobertas em 1870, e desde então respondem por 95% da produção mundial desta gema (SEDAWIE, 2019).

No Brasil, nos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes, estado do Piauí, estão localizadas as principais minas e garimpos produtores de opalas preciosas e laranjas,

respectivamente, com registros no Ministério das Minas e Energia desde meados da década de 1940 (GOMES, 2002, Figura 01).

Figura 01 – Localização e acessos para Pedro II e Buriti dos Montes.



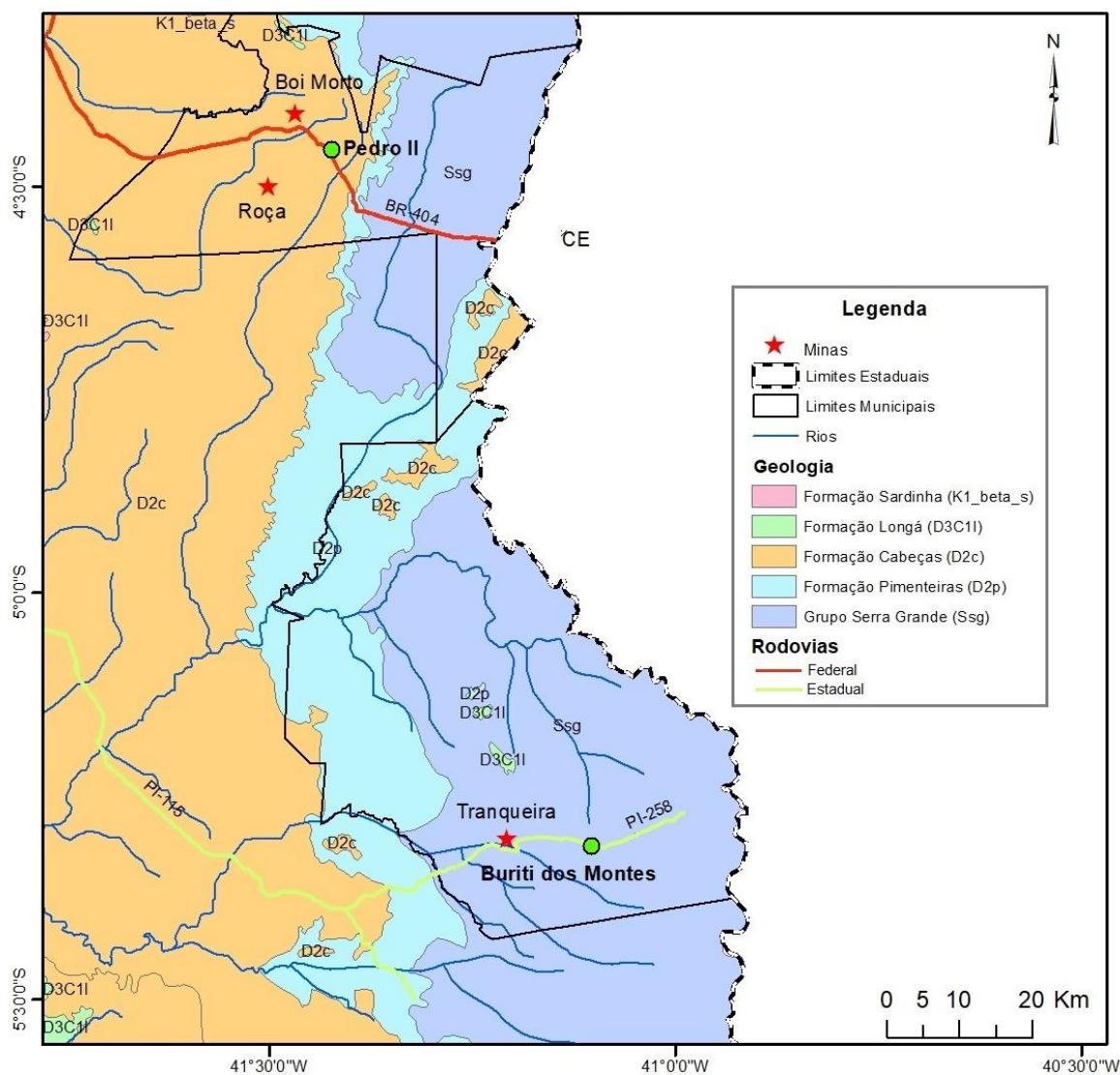
2. Desenvolvimento

2.1 Geologia

A geologia das mineralizações opalinas encontradas no estado do Piauí envolve a presença de um arenito, uma rocha sedimentar formada por grãos de areia, que integra as formações do Grupo Serra Grande e Formação Cabeças e Formação Poti, tendo nas proximidades, o contato com uma rocha ígnea intrusiva básica, o diabásio (Figura 02).

Figura 02 – Mapa geológico regional, destacando os arenitos do Grupo Serra Grande e da Formação Cabeças, hospedeiros respectivamente, das opalas

encontradas em Buriti dos Montes e Pedro II, com a localização dos principais garimpos desta gema.



Fonte: IBGE (2019), modificado de Gomes (2002) e CPRM.

O conjunto arenito x diabásio representa na rocha ígnea, a fonte da energia térmica ativadora de um ambiente hidrotermal enquanto o arenito é um aquífero.

O calor do magma intrusivo aquece a água existente nos poros dos arenitos, desenvolvendo células de convecção de fluidos que vão interagir com os grãos de quartzo constituintes destas rochas sedimentar, dissolvendo-os e/ou aprisionando-os como inclusões. Reagem também com o diabásio, a fonte do calor, alterando sua mineralogia primária, formando um conjunto de novos minerais. Ao final desse ciclo, tanto nos arenitos como na rocha ígnea, o balanço geoquímico libera sílica para o fluido, que ao resfriar, torna-se saturado e precipita esta nas fraturas existentes para formar a opala, quartzo e calcedônia

(GOMES, 1990; GOMES, 2002; GOMES & COSTA, 2001a; MARQUES et al., 2013, 2015).

2.2 Propriedades Gemológicas

2.2.1 A Opala de Pedro II

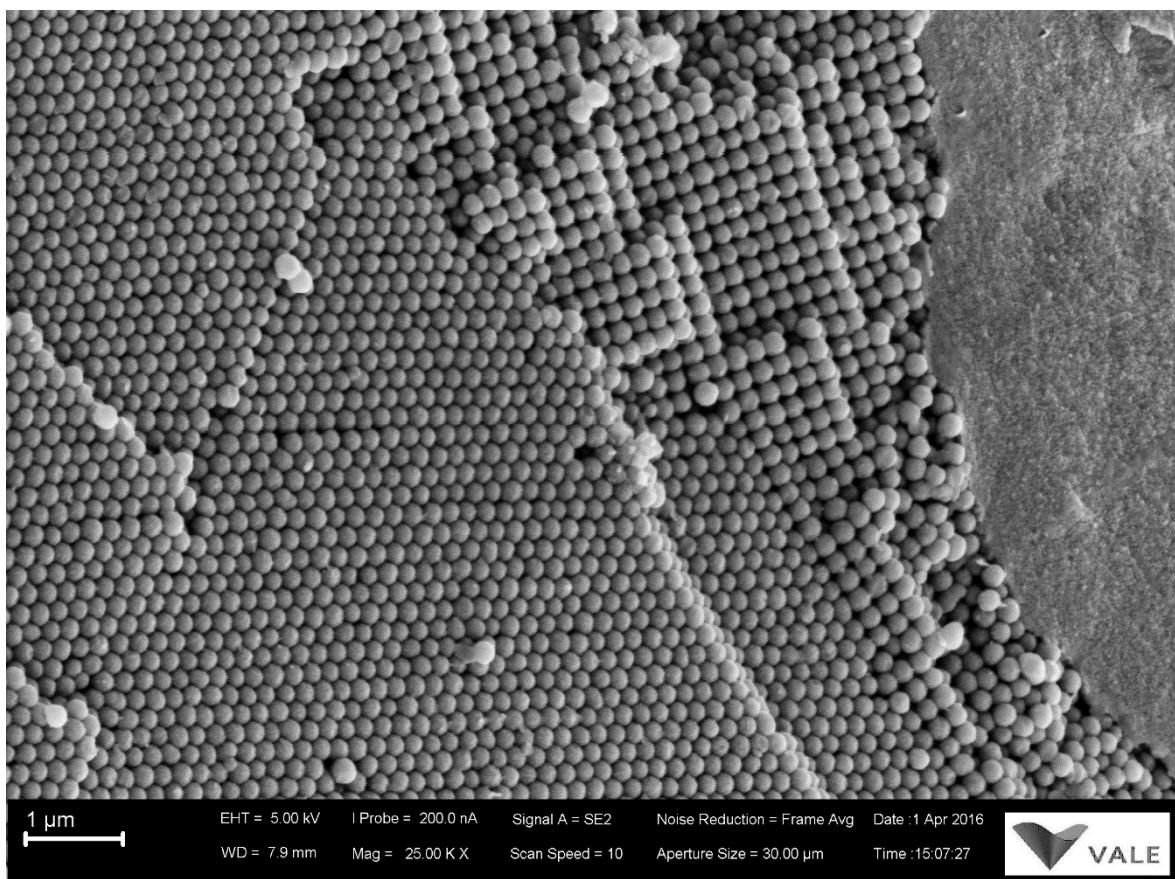
A opala de Pedro II, em função de seus aspectos genéticos, possui um conjunto de características gemológicas, que a torna uma das melhores opalas do mundo, tais como:

- ✚ Baixo teor de H₂O, entre 2,6 e 4,9%, em peso (BARTOLI et al., 1983);
- ✚ Dureza elevada, em média 6,5 (NEM & URBANO FILHO, 1974; SOUZA, 1985);
- ✚ Grande resistência às mudanças de temperatura. As outras congêneres, ao contrário, com o passar do tempo, desidratam-se, ficando com fissuras, podendo mesmo até trincar-se espontaneamente, o que leva à perda de seu valor.

Estas características credenciam-na com melhores propriedades, no que se refere ao seu emprego na lapidação e indústria joalheira.

O jogo de cores da opala preciosa é produzido pela sua estrutura, constituída por uma rede de difração natural, tridimensional, com formas perfeitamente esféricas de sílica amorfa, tamanho uniforme, que se unem num arranjo regular. Neste caso, os interstícios entre as esferas também apresentam um arranjo tridimensional regularmente ordenado. A opala preciosa em sua forma mais bela consiste em um empacotamento de esferas perfeitas, de igual tamanho, cujos espaços entre as esferas são vazios. Este empacotamento perfeito pode ocorrer de dois modos diferentes: hexagonal e/ou cúbico (Gomes, 2002), os quais podem ser observados na Figura 03.

Figura 03 – Imagem de uma opala preciosa de Pedro II, com aumento de 25.000 vezes, destacando as esferas de igual diâmetro, ordenadas com padrão regular, mostrando empacotamento hexagonal e cúbico.



Fonte: Imagem cedida pela geóloga Gisele T. Marques, produzida no Laboratório de Microanálises (IG-UFPA) no MEV Sigma-VP, pertencente ao Instituto Tecnológico Vale (ITV).

As esferas de sílica são opticamente transparentes, mas devido ao seu índice de refração entre 1,435 e 1,455, ser muito maior do que o índice de refração da água, vapor ou ar, os quais preenchem os interstícios entre as esferas, a luz poderá ser difratada na superfície dos interstícios. Assim, há uma quebra na continuidade óptica, agindo como uma rede de difração óptica tridimensional.

As melhores opalas são aquelas que apresentam todas as cores do arco-íris. Para isso, são necessárias esferas com um diâmetro entre 222 e 329 nm, as quais mostrarão em função dos diferentes pontos de incidência da luz, independentemente do ângulo de incidência da luz branca, as diversas cores do espectro visível. A cor básica destas opalas preciosas, quando existente, é relacionada com a presença de inclusões mineralógicas que atuam como cromóforos (GAILLOU et al., 2008).

Os principais tipos de opalas encontradas em Pedro II são *light opal* (o mais frequente), opala *boulder*, *boulder* matriz, opala negra (rara) e as opalas compostas (dublets e triplets).

Os jogos-de-cores das opalas preciosas são classificados em padrões que tem a missão de nomear a incrível explosão de cores vistas no topo de cada cabochão. Os principais padrões identificados nas opalas de Pedro II, são *pinfire* (capotinha), *block*, *flagstone*, *jigsaw*, *flash fire*, *broad flash* (fogão), *tiger*, *ribbon*, *arlequim*, arlequim flag e *rolling flash* (Figuras 04 e 05).

Figura 04 – Opalas com os padrões *jigsaw*, *ribbon*, *tiger* e *flash fire* encontradas nos aluviões do garimpo da Roça, em Pedro II.



Fonte: Fotos cortesia da empresa *Brazil Opals*.

Figura 05 – Opalas com os padrões *arlequim flag*, *rolling flash*, *pinfire* (*doublet*) encontradas nos aluviões do garimpo da Roça, Pedro II. A direita, um mosaico *triplet*.



Fonte: Fotos cortesia da empresa *Brazil Opals*.

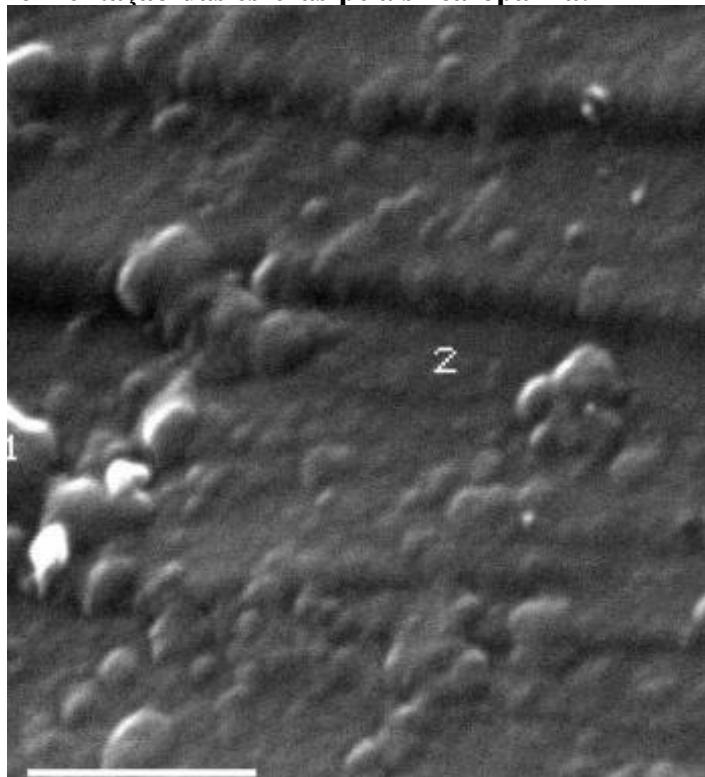
2.2.2 A Opala de Buriti dos Montes

As opalas encontradas na localidade Tranqueira, zona rural de Buriti dos Montes, são da variedades opala laranja, termo proposto por Downing (1992), exibindo matizes de cores entre o amarelo e o vermelho. São conhecidas também como opala de fogo ou *jelly*.

AS OPALAS DE PEDRO II E BURITI DOS MONTES, PIAUÍ

A origem de suas cores básicas (cor de fundo (*background color*) ou cor do corpo (*bodycolor*) ou cor da massa opalina) está relacionada com a presença de nanoinclusões de minerais que contém ferro enquanto a intensidade desta cor deve-se à concentração deste elemento químico (GAILLOU et al., 2008). A cimentação do espaço intersticial entre as esferas de sílica formadoras desta gema, por um cimento de mesma composição química das esferas, permite que a luz incidente tenha continuidade óptica, conferindo transparência e ausência do jogo de cores (Figura 06).

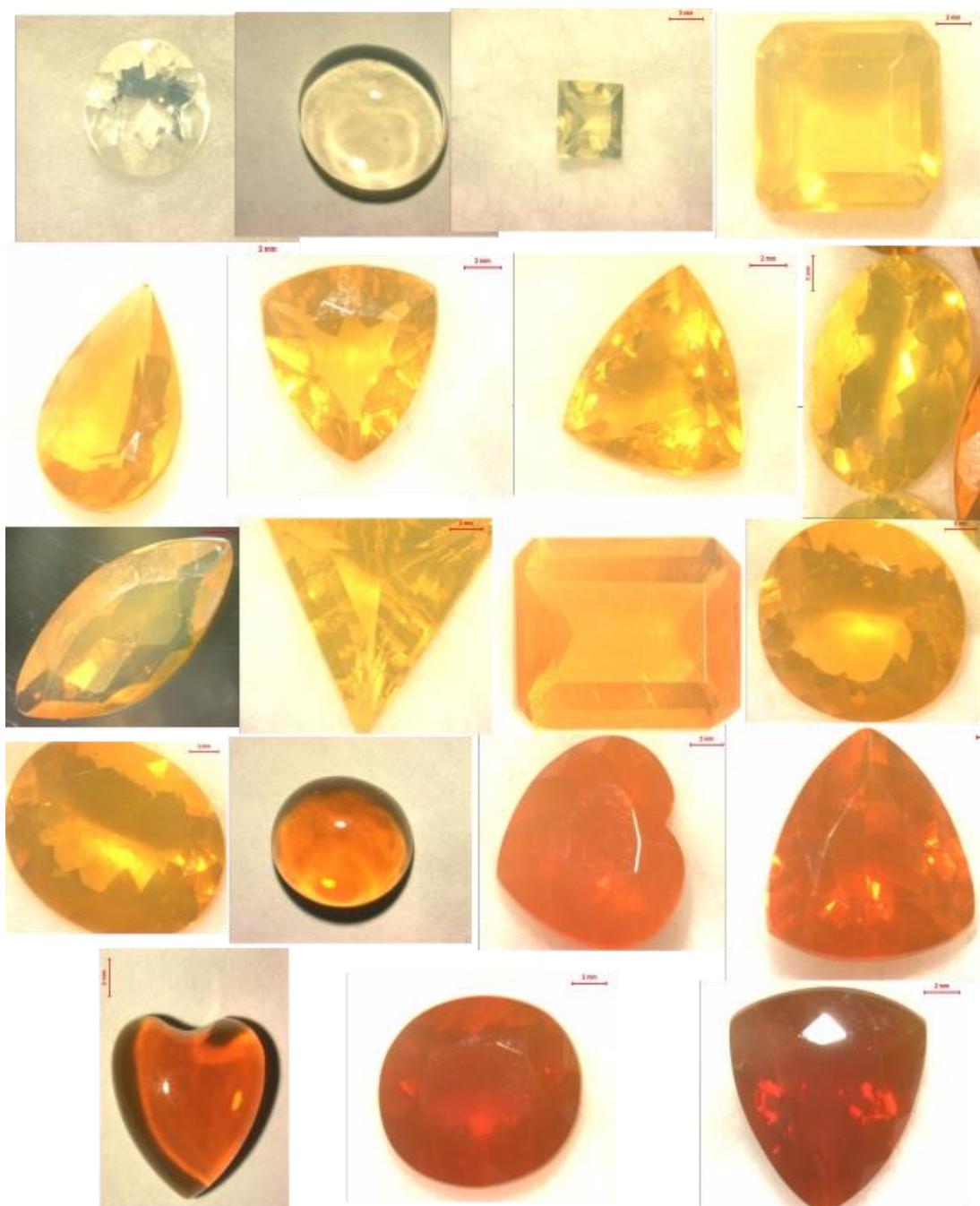
Figura 06 – Imagem da opala de Buriti dos Montes, com aumento de 25.000 vezes, destacando a cimentação das esferas pela sílica opalina.



Fonte: Gomes (2002). Escala: 1,0μm

Estas opalas apresentam boa transparência; dureza 6,5; densidade entre 2,08 e 2,20; índice de refração é 1,455 (+0,005, -0,015). As cores básicas observadas são variações entre o amarelo e o vermelho, que na classificação de Downing (1992), apresenta o amarelo-claro água, amarelo-claro, amarelo, amarelo-laranja, laranja, laranja-avermelhado, vermelho, vermelho-escuro e vermelho-amarronzado, observadas nas opalas de Butiti dos Montes. Também foram encontradas opalas na cor azul-claro e branca (Figura 07).

Figura 07 – Fotos das opalas de Buriti dos Montes, destacando a variação das cores desde o amarelo claro água ao vermelho amarronzado, em diversas lapidações facetadas e cabochões (escala: 2,0mm).



Fonte: Gomes (2002)

3. Considerações Finais

A gênese hidrotermal das opalas preciosas e opalas laranjas encontradas no território piauiense, é refletida no conjunto das suas qualidades gemológicas, únicas e raras.

Estas opalas, constituem-se num patrimônio da Geodiversidade reconhecido pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), que em 2012, concedeu o certificado de

AS OPALAS DE PEDRO II E BURITI DOS MONTES, PIAUÍ

Indicação Geográfica (IG), na categoria Indicação de Procedência (IP), para as opalas preciosas e as joias artesanais produzidas a partir delas. A beleza da opala, inigualável no reino mineral, é um importante instrumento de fortalecimento da piauiensisidade.

Apesar do grande potencial gemológico existente no estado Piauí, com ocorrências de opalas conhecidas na porção central e norte do estado, praticamente somente aquelas encontradas em Pedro II e Buriti dos Montes foram alvo de pesquisas científicas. Há uma enorme carência de estudos geológicos, mineralógicos e gemológicos, os quais poderiam potencializar a geração de emprego e renda para muitas famílias, contribuindo com o desenvolvimento estadual.

Referências bibliográficas

- BARTOLI, F.; MEYER, R.; MOURA, F. de F.; SAMAMA, J. C. Caractérisation chimico-minéralogique de l'opale noble des gisements de nord-est du Brésil. Paris, Note. C. R. Acad. Sc. Paris, 296: 625-630, 1983.
- CURTIS, N. J.; GASCOOKE, J. R.; JOHNSTON, M. R.; PRING, A. A Review of the Classification of Opal with Reference to Recent New Localities. *Minerals*. 2019, 9, 299; doi:10.3390/min9050299.
- DOWNING, P. B. **Opal - Identification and value**. Tallahassee, Majestic Pr. 210p., 1992.
- ELOISE, G.; DELAUNAY, A.; RONDEAU, B.; BOUHNIK-LE-COZ, M.; FRITSCH, E.; CORNEN, G.; MONNIER, C. The geochemistry of gem opals as evidence of their origin. *Ore Geology Reviews*. 34:113–126, 2008.
- GOMES, E. R. **Contribuição à Mineralogia, Geoquímica e Gênese das Opalas de Pedro II, Piauí**. 1990. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) Departamento de Geoquímica e Petrologia / Centro de Geociências/ UFPA, Belém, 1990.
- GOMES, E. R. **Mineralogia e Gemologia da Opala Laranja de Buriti dos Montes (Piauí, Brasil)**. Belém: Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 89p. (Dissertação de Mestrado), 2002.
- GOMES E.R. & COSTA M.L. **Inclusões sólidas na opala laranja de Buriti dos Montes, Piauí**. Anais do Simpósio de Geologia do Nordeste, 19: 214, 2001a.

GRANDE, L. & AUGUSTYN, A. **Gems and Gemstones**: Timeless Natural Beauty of the Mineral World. The University of Chicago Press. 352 pages, 2009. Disponível em <https://www.press.uchicago.edu/books/grande/gallery/index.html>. Acesso em 10/12/2021.

MARQUES, G. T.; COSTA, M. L.; GOMES, E. R. **Modelo genético para as opalas do Piauí**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 3., 2013, Gramado. Boletim de resumos. Gramado1 CD-ROM, 2013.

MARQUES, G. T.; COSTA, M. L.; GOMES, E. R. Orange opals from Buriti dos Montes, Piauí: solid inclusions as genetic guides. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 68 (1), 053-059, jan. março, 2015.

NAEA, M. **Opals – a Brief History**: Life's Treasures Kauai. 2011. Disponível em <https://lifestreasureskauai.com/opals-a-brief-history>. Acesso em 10/12/2021.

NEM, L. H. B. & URBANO FILHO, C. 1974. **A opala brasileira no Piauí**. In: CONGR. BRAS. GEOL., 28, Porto Alegre, 1974. *Resumos...* Porto Alegre, SBG. p.593-595

SEDAWIE, P. **Opal Passion**. 94 p, 2019. E-book. Disponível em <https://www.opalauctions.com/learn>. Acesso em 10/12/2021.

SOUZA, W. C. **Perfil analítico da opala**. Brasília, DNPM, 44 p., 1985.

SUWA, Y. **Gemstones - Quality and value**. Santa Monica, GIA and Suwo & Sons. 142 p., 1994.

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

EVIDENCE OF ANCIENT GLACIATIONS IN THE NORTHEASTERN

SERTÃO

**Afonso César Rodrigues Nogueira^{1*}; Ana Maria Góes², José Bandeira³, Ivan
Alfredo Romero Barrera⁴, Renato Sol Paiva de Medeiros⁵; Renan Fernandes dos
Santos⁶; Pedro A Silva⁷; Joelson Lima Soares⁸**

^{1*} Universidade Federal do Pará – UFPA; anogueira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5225-9255

² Universidade de São Paulo - USP; amgoes@usp.br; ORCID: 0000-0001-8575-1935

³ Universidade Federal do Pará – UFPA; jbandeira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-9483-1897

⁴ Universidade Federal do Pará – UFPA; ivan.barrera@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5598-9181

⁵ Universidade Federal do Pará – UFPA; renato.solgeo@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1202-0143

⁶ Universidade Federal do Pará – UFPA; renan.santos@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-6068-3814

⁷ Universidade Federal do Pará – UFPA; pedrogeologia8@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7177-3778

⁸ Universidade Federal do Pará – UFPA; jlsoares@ufpa.br; ORCID 0000-0003-3683-523X

RESUMO: O sertão nordestino quente atual já foi um cenário gelado no passado geológico da Terra quando fazia parte de um gigantesco continente que estava próximo ao polo sul. Como o gelo do passado não se preserva no registro geológico, sobra apenas os sedimentos compostos de grãos de cascalho, areia e argila que esse gelo transportava. Esses sedimentos ao virarem rocha durante o soterramento representam as evidências da passagem de geleiras pela atual região do sertão a milhões de anos atrás. Pelo menos duas glaciações estão documentadas nas rochas do sertão ocorridas em 440-430 milhões de anos e 360-425 milhões de anos, respectivamente, os períodos Siluriano e Devoniano. As evidências dessas glaciações estão em depósitos rochosos da Bacia do Parnaíba, representados por conglomerado com matriz argilosa rico em clastos de diferentes tipos de rochas, sem estrutura, estratificados ou deformados denominados de diamictitos. Após o avanço das geleiras que depositaram os diamictitos, ocorreu a fase de degelo marcada pelos folhelhos marinhos, ricos em matéria orgânica, sendo que alguns deles contém detritos advindos do derretimento de *icebergs*. Esses intervalos glaciais são geralmente intercalados por depósitos fluvio-deltaicos desenvolvidos durante fase interglacial e servem como importante marcos estratigráficos para a correlação global desta parte do nordeste.

Palavras-chave: Geleira. Bacia do Parnaíba. Diamictito. Gondwana. Paleozoico.

ABSTRACT: The current hot northeastern sertão in Brazil was once a scenario in the Earth's geological past close to the south pole and included in the part of a giant continent, the Gondwana. The ancient ice that covers this region in the past was not preserved in the geological record. Sediment remains composed of gravel, sand, and clay transported by the ice were the unique record documented throughout the time. During the burial, these sediments become a rock

succession, evidence from the passage of glaciers in the sertão once upon millions of years ago. At least two glaciations are documented in these Sertão rocks in 440-430 and 360-425 million years ago, during the Silurian and Devonian periods. The glaciation evidence is recorded in the Parnaíba Basin as a matrix-supported conglomerate with clasts of different rocks named diamictite. After the glacier advance that deposited the diamictite, the succession is underlaid by organic matter-rich-marine shales, sometimes containing debris from the melting of icebergs. These glacial deposits are usually sandwiched by fluvial-deltaic succession and are considered stratigraphic marks for the global correlation of this part of the Brazilian northeast.

Keywords: Glaciers. Parnaíba Basin. Diamictite. Gondwana. Paleozoic.

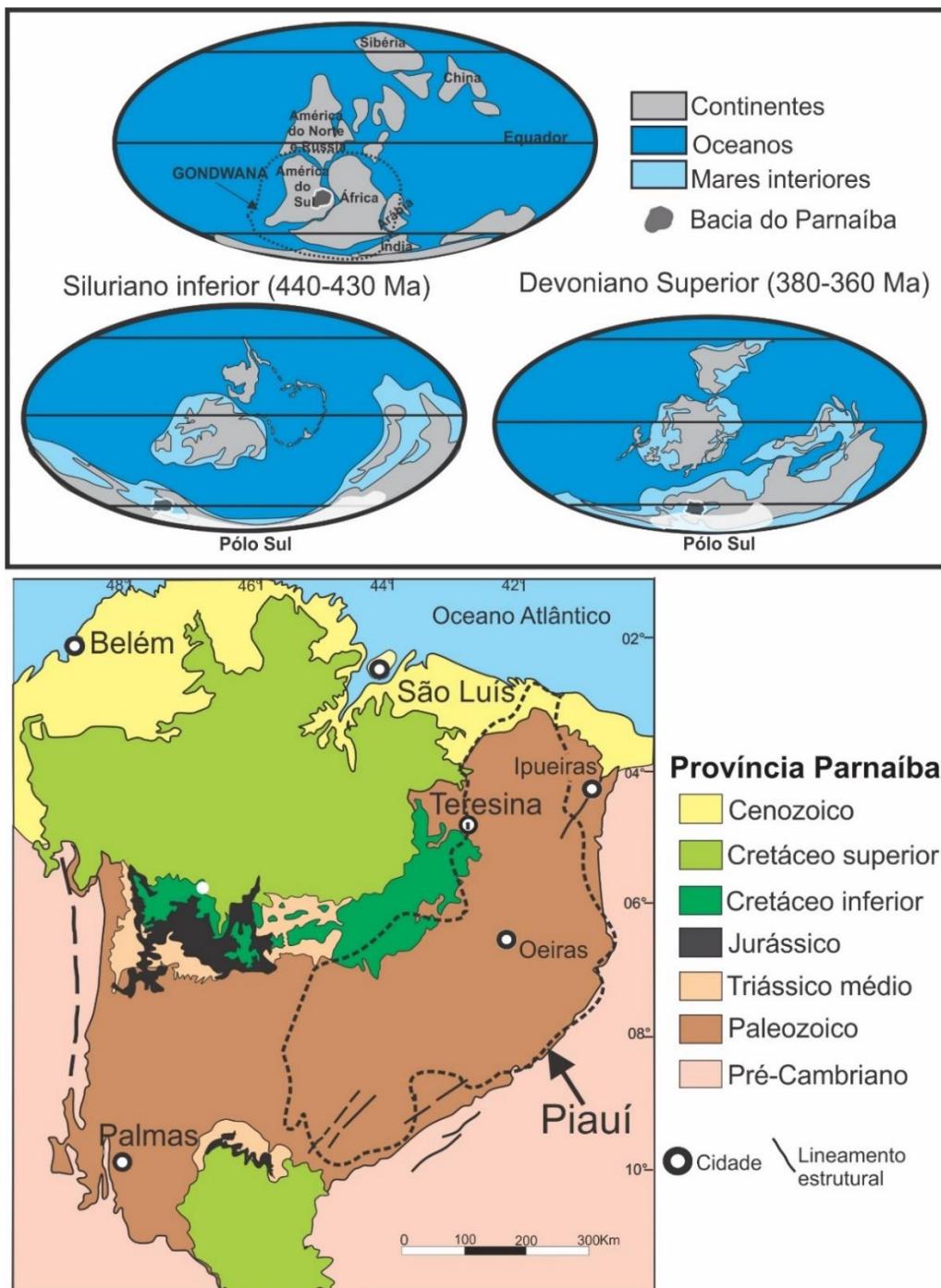
1 Introdução

Passear atualmente pelo sertão nordestino é uma experiência que necessita de muita água para refrescar a cabeça do sol quente de derreter o solado do sapato. Este cenário, no entanto, já foi bem diferente no passado e nem de longe se parecia com a atual paisagem seca e rochosa dominada por cactos como o mandacaru. Pelo menos em duas oportunidades no passado geológico, em 440-430 e 360-425 milhões de anos atrás, o gelo dominava essa parte do nordeste do Brasil que integrava um aglomerado composto pela América do Sul, África, Oceania, Antártica e parte da Ásia, confinado ao polo sul, o extinto continente Gondwana (Fig. 1). Neste artigo, revisitamos os registros glaciais da borda leste da Bacia do Parnaíba, que inclui os depósitos do Siluriano da Formação Ipu (Assis et al. 2019, Caputo e dos Santos 2019, Barrera et al., 2020) e do Devoniano da Formação Cabeças (Barbosa et al., 2015) expostos, respectivamente, em afloramentos de rochas em cortes de estradas na região de Ipueiras, Estado do Ceará, e próximo a Oeiras, Estado do Piauí (Fig. 1). A análise estratigráfica e de fácies baseada em afloramentos, combinada com estudos geométrico-estruturais destes depósitos, possibilitou identificar pelo menos um ciclo de avanço-recuo de geleira nas sucessões estudadas e a ocorrência de feições geradas pelo peso e movimento das geleiras ou glaciotectônicas. Este procedimento permitiu construir um modelo de evolução sedimentar contribuindo para a compreensão do papel das sucessões glaciais no entendimento paleogeográfico da região. Estas informações ampliam a compreensão do desenvolvimento de sistemas petrolíferos nessas bacias sedimentares instaladas no Gondwana Ocidental. As novas interpretações melhoraram a correlação destes depósitos com outras sucessões no mundo, além de compreender o papel dos mantos de gelo e das transgressões marinhas pós-glaciais que caracterizam o Paleozoico inferior (485 a 358 milhões de anos) da Bacia do Parnaíba.

Figura 1. Cenários paleogeográficos do Gondwana Oeste com destaque para a localização da Bacia do Parnaíba. O globo de cima da figura ilustra o Gondwana, num cenário mais recente que Siluriano e Devoniano, o foco deste trabalho. Nos períodos Siluriano e Devoniano, o Gondwana estava confinado no polo sul e com

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

predomínio das geleiras. A parte inferior da figura mostra o mapa geológico da Bacia do Parnaíba com destaque para os locais com evidências glaciais nos estados do Piauí e Ceará, o sertão nordestino.



Fonte: Reconstruções Paleogeográficas baseadas em Scotese (1999), modificado. E em CPRM (2004).

2. O registro glacial na Bacia do Parnaíba

Sucessões glaciogênicas do Gondwana têm sido o foco de vários estudos estratigráficos recentes, principalmente devido ao seu potencial como possíveis sistemas Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.144 – 146 , Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748.

de petróleo. A geração de hidrocarbonetos está associada à presença de folhelhos negros ricos em matéria orgânica depositados durante a transgressão marinha pós-glacial, considerados possíveis rochas geradoras. Além disso, os arenitos intercalados aos folhelhos glacio-marinhas podem representar possíveis rochas reservatórios de petróleo (Vesely et al. 2007, Assine & Vesely 2008, Fielding et al. 2012). Os depósitos glaciais no Gondwana Ocidental estão bem preservados nas bacias paleozoicas da América do Sul (Cunha et al. 1994, Loboziak et al. 2000, Streel et al. 2000, Isaacson et al. 2008). O Paleozoico inferior foi caracterizado pelas condições climáticas de efeito estufa, com alto teor de CO₂ na atmosfera, cinco vezes maior que o atual (Brenchley et al., 1994). A migração do supercontinente Gondwana em direção ao Pólo Sul foi concomitante a fatores astronômicos como mudanças na rotação da Terra e diminuição da radiação solar que favoreceu o crescimento das camadas de gelo (Brenchley et al., 1994). A transição entre os períodos Siluriano, Devoniano e Carbonífero no Gondwana Ocidental é marcada por longos períodos glaciais (Ghienne, 2003; Saltzman, 2003; Davydov et al., 2010, 2012) (Fig. 1). O final das glaciações paleozoicas foi marcado pelo o mais expressivo aumento glacio-eustático do nível do mar mais considerável na história da Terra, gerando transgressões marinhas significativas marcadas pela deposição de folhelhos ricos em matéria orgânica (Haq & Schutter, 2008).

No Norte do Brasil, rochas do Siluriano (440-430 milhões de anos) e do Devoniano (380 a 350 milhões de anos) são hospedeiros de depósitos glaciais e pós-glaciais e representam as principais unidades de reservatório de sistemas petrolíferos na Bacia do Parnaíba (Fig. 1). Esta bacia classificada como intracratônica, está localizada ao norte do continente sul-americano, nordeste do Brasil, com área de aproximadamente 600.000 km² e pode atingir de 3,4 a 3,5 km de espessura nos depocentros (Caputo, 1984; Vaz et al., 2007; Daly et al., 2014). O embasamento da bacia representado principalmente por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, com idades variando do Arqueano ao Ordoviciano, formadas ou retrabalhadas durante o ciclo Brasiliano-Pan-Africano (Vaz et al., 2007). A origem e evolução da Bacia do Parnaíba estão principalmente relacionadas aos eventos tectônico-magmáticos (Daly et al., 2014), que produziram o início da sedimentação durante o Paleozoico a partir de uma depressão ordoviciano, causada por ajustes isostáticos e resfriamento após a fusão do Gondwana (Brito Neves et al., 1984; De Castro et al., 2014).

Em relação as evidências glaciais obtidas por dados de superfície e subsuperfície, a ocorrência de conglomerados com muita matriz e com clastos facetados de diferentes

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

composições mineralógicas denominados tilitos, e raros pavimentos estriados têm sido a principal base para apoiar uma influência/natureza glacial em unidades das bacias paleozoicas intracratônicas brasileiras (Caputo et al. 1971, Carozzi et al. 1973, Carozzi et al. 1975, Caputo 1985, Caputo & Crowell 1985, Grahn 1991, Grahn e Caputo 1992, Grahn e Paris 1992). Por outro lado, deformações glaciotectônicas resultantes do estresse produzido pelo peso e movimento de uma geleira sobre os sedimentos subjacentes são incipientemente registradas (Costa et al. 1994, Rocha-Campos et al. 2000, Soares et al. 2005). As estruturas glaciotectônicas são comparáveis às estruturas tectônicas de cinturões de cisalhamento, embora sejam geralmente muito menores em escala, são intraformacionais e de nível crustal superficial (Banham 1977, Nielsen 1988).

4. Resultados

Os trabalhos de campo foram realizados em afloramentos da Formação Ipu, localizados na rodovia CE-257, que cruza a Serra da Ibiapaba, no estado do Ceará, enquanto as exposições da Formação Cabeças ocorrem em cortes da rodovia BR-230 próximo a Oeiras, Estado do Piauí (Fig. 1). Em geral os diamictitos que são conglomerados com mais de 15% de matriz, arenitos e argilitos com estruturas e texturas glaciais (Paleoambientes 2A e 2B da figura 2) estão intercalados com sucessões de espessura métrica de conglomerados e arenitos fluviais e deltaicos (Paleoambiente 1 da Figura 2). Os diamictitos glaciais silurianos são mais espessos com cerca de 40m de espessura enquanto os devonianos alcançam apenas 3m sendo que a maior parte dos depósitos com influência glacial são interpretados como delta de degelo com até 10m de espessura dentro do paleoambiente 1 (ver perfil de Oeiras na figura 2). A sucessão glacial nos perfis estudados é recoberta por depósitos marinhos rasos com a ocorrência na base dos folhelhos de arenitos grossos e seixos atribuídos como detritos advindos de *icebergs*. Estes detritos quando isolados são denominados de seixo caído (dropstone) e quando composto por um cascalho arenoso é chamado de *dumpstone* (Fig. 2).

Figura 2. Perfis compostos dos depósitos silurianos da Formação Ipu (A) e Devoniano-carbonífero da Formação Cabeças (B), respectivamente na região de Ipueiras (CE) e Oeiras (PI).

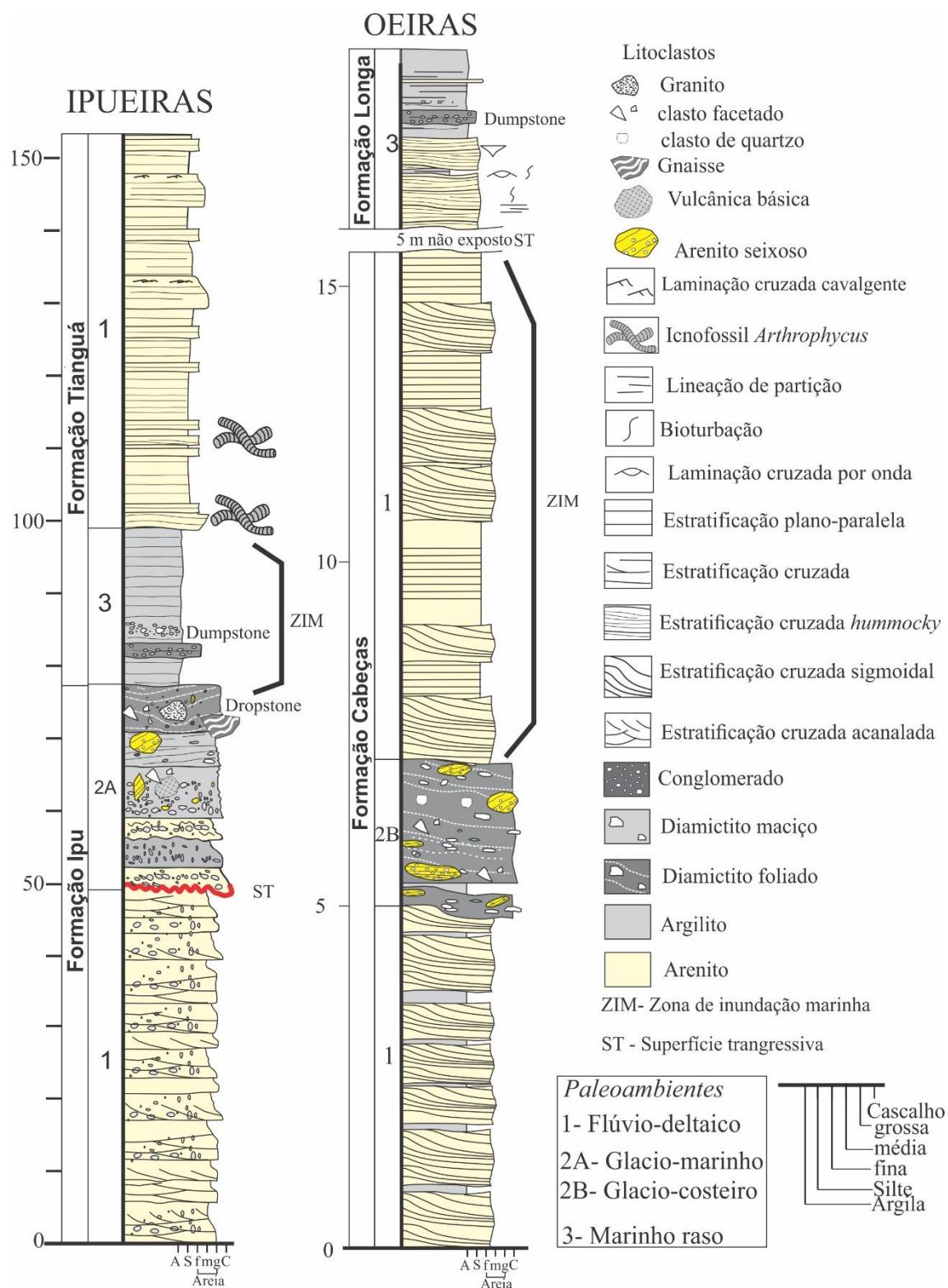
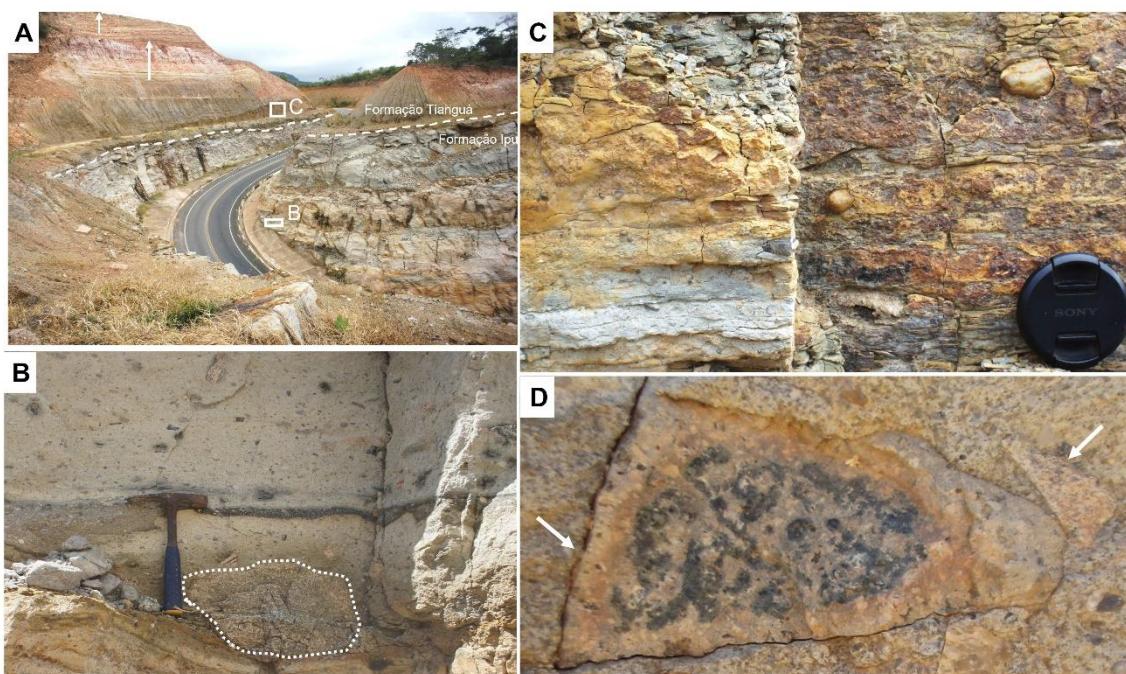


Figura 3. Seção de Ipueiras (CE), exibindo litotipos e estruturas glaciais das formações IPU e Tianguá. A) Seção panorântica da sucessão glacio-marinha mostrando o contato entre as formações Ipu e Tianguá, exibindo ciclos métricos de folhelho e arenito para o topo (setas brancas). B) Megaclasto de granito na base de

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

diamictito maciço (detalhe de A). C) Folhelho com detritos e seixos isolados interpretados respectivamente como *dumpstone* e *dropstone* (detalhe de A). D) Clastos facetados em diamictito.



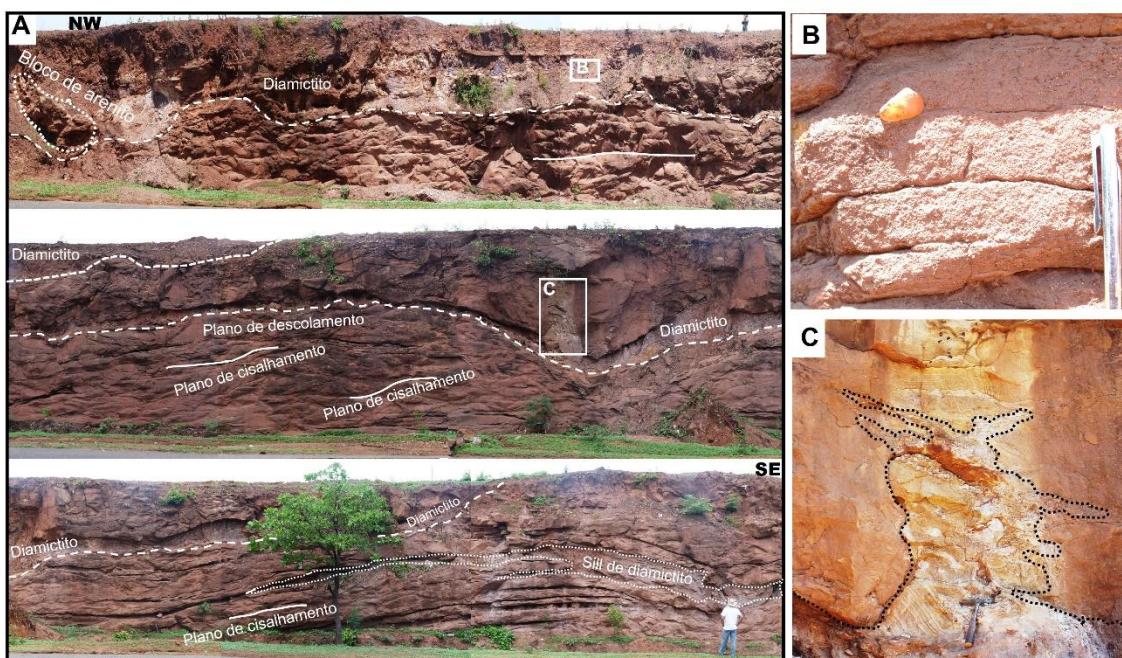
Os diamictitos maciços são interpretados como depósitos glaciogênicos subaquáticos de fluxo de detritos coesos, depositados próximo da frente de derretimento do gelo (Le Heron et al., 2012). Os diamictitos estratificados são interpretados como sedimentos depositados também em ambiente proglacial (glaciomarinho), transportados por fluxo de detritos com uma maior entrada de silte e argila, durante o recuo da margem de gelo (Visser, 1997). Tais estratificações foram geradas durante altas taxas de derretimento do gelo e fluxo de gravidade de sedimentos (Visser, 1997).

Os folhelhos negros com detritos provavelmente foram depositados na zona de transição offshore. Concomitante ao derretimento da capa de gelo (pós-glacial), eventos transgressivos se tornaram cada vez mais intensos, aumentando a área continental recoberta pelo mar e favorecendo a deposição de espessas camadas de folhelhos negros orgânicos, produto da sedimentação de argila e silte por suspensão em ambiente de baixa energia de águas profundas, influenciada pela elevação progressiva do nível do mar em uma transgressão de longo prazo.

O perfil de Oeiras se caracteriza pela ocorrência de uma zona de deformação limitada por um plano de descolamento marcado por diamictitos maciços sobre depósitos flúvio-deltaicos parcialmente deformados com a formação de planos de cisalhamento (Fig. 2, 4). Os diamictitos maciços são compostos por clastos de arenito, argilito e

fragmentos vulcânicos, polidos e facetados, imersos em uma matriz argilosa. As principais estruturas deformacionais, são brecha intraformacional, dobras abertas e falhas normais, diques injeção sub-verticais preenchidos por arenito de granulação fina a média. A frente deltaica de degelo é constituída por arenitos de camadas tabulares, lenticulares de granulação fina a média, e recobrem os depósitos subglaciais e incluem arenito maciços, com laminação plano- paralela e estratificação cruzada sigmoidal. Estrutura de escape d'água estão associados ao arenito maciço.

Figura 4. Seção de Oeiras (PI), exibindo litotipos e estruturas glaciais da Formação Cabeças. A) Seção panorâmica da sucessão glacio-costeira mostrando camadas tabulares deformadas e parcialmente deformadas com planos de cisalhamento, separada por plano de descolamento (linha branca tracejada) sobreposto por diamictito. B) Diamictito com clasto de quartzo isolado (detalhe de A). C) dique clástico de injeção (detalhe de A).



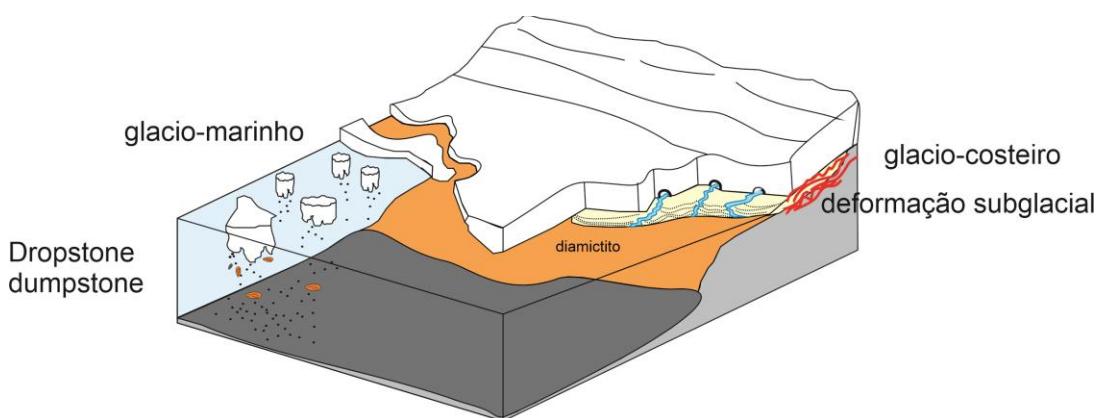
O transporte glacial é caracterizado pela capacidade de carregar sedimentos com tamanhos e formas variadas, incorporando camadas do substrato parcialmente consolidados que são submetidos a intenso estresse durante o avanço da geleira formando planos de cisalhamento, falhas e dobras (paleoambiente 2B da figura 2, Fig. 4). A natureza dos diamictitos texturalmente imaturos com clastos facetados, polidos e estriados, é compatível com a interação das tensões impostas por uma geleira em movimento e processo de atrito abrasivo (paleoambiente 2B da figura 2). O par formado por diamictito com estruturas deformacionais sobrepostos por depósitos lobados de delta de degelo

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

reflete um ciclo de avanço-recuo da geleira. A superfície de descolamento é preferencialmente desenvolvida no contato entre diamictitos e lobos arenosos sigmoidais, devido a diferença de reologia que permitiu a propagação de movimento induzido pelas geleiras, gerando um plano de cisalhamento que separa estratos deformados de não deformados (van der Wateren 1986, Fernlund 1988; Kessler et al. 2012). Falhas normais sugerem o alívio das tensões pela retirada da geleira do substrato deltaico. A presença de corpos de arenito com geometrias planas e lobadas sugerem mudanças no padrão de sedimentação pós-glacial, influenciada pela variação de energia da descarga da água de degelo formando um sistema de frente deltaica (Eyles & Eyles 2010).

O registro glacial do Siluriano tem como principal depósitos diamictitos arenosos e argilosos intercalados com argilitos com predominância de clastos caídos (dropstone) e *dumpstone* em ambiente subaquático no ambiente marinho. Por outro lado, o registro glacial do Devoniano sugere contato direto da geleira com o substrato rochoso e sedimentar costeiro, geralmente deformado pelo avanço da geleira sucedido por deltas de lavagem durante a fase de recuo ou degelo. A figura 5 ilustra esses dois ambientes que estão em consonância com a paleogeografia dos dois intervalos de tempo mostrados na figura 1.

Figura 5. Bloco diagrama dos ambientes glaciais interpretados para as sucessões siluriana e devoniana da Bacia do Parnaíba. O lado esquerdo do bloco ilustra o desprendimento da geleira na água marinha com predomínio de detritos liberados no derretimento dos icebergs na porção distal da bacia. O lado direito do bloco exibe ambientes costeiros como rios, praias e deltas formados durante o recuo da geleira e posteriormente deformados durante a fase de avanço do gelo.



5 Considerações finais

Diamictitos com clastos de diferentes tipos de rochas sem estruturas, estratificados ou foliados são os principais depósitos reconhecidos como de origem glacial na borda leste da Bacia do Parnaíba. Estes depósitos pertencem as formações Ipu na região de Ipueiras/CE do Siluriano e Cabeças do Devoniano nas proximidades de Oeiras/PI. Tais unidades apresentam assinaturas distintas de glaciação. No Siluriano ocorreram grandes incursões marinhas e um gradual degelo no Oeste do Gondwana, o que favoreceu a deposição de sucessões glacio-marinhas com predominância de camadas de folhelhos intercaladas com horizontes ricos em detritos advindo da chuva de terrígenos durante o degelo de *icebergs*. A unidade devoniana apresenta uma maior influência continental com o avanço de geleiras sobre regiões costeiras causando deformação glaciotectônica do substrato rochoso ou sedimentar. Os eventos pós-glaciais são representados pela instalação de delta de degelo no Devoniano e de ambiente marinho raso com influência de fluxo detritos de *icebergs* durante a transgressão pós-glacial (formações Tianguá e Longá). O entendimento das assinaturas glaciais na Bacia do Parnaíba favorece correlações estratigráficas com outros depósitos glaciais ao redor do mundo, possibilitando a elaboração de modelos paleogeográficos e paleoclimáticos globais.

Referências bibliográficas

- ASSINE M.L. & VESELY F.F. Ambientes Glaciais. In: Silva A.J.C.L.P., Aragão M.A.N.F., Magalhães A.J.C. (org.). Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil. Beca, p. 24-51. 2008.
- ASSIS A.P., PORTO A.L., SCHMITT R.S., LINOL B., MEDEIROS S.R., CORREA MARTINS F., SILVA D.S. The Ordovician-Silurian tectono-stratigraphic evolution and paleogeography of eastern Parnaíba Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. **95**: 102241. 2019.
- BANHAM P.H. Glacitectonics in till stratigraphy. **Boreas**. **6**:101-106. 1977.
- BARBOSA R.,C.,M., NOGUEIRA A.,C.,R., GARCIA F.,H.,D. Famennian glaciation in the eastern side of Parnaíba Basin, Brazil: evidence of advance and retreat of glacier in Cabeças Formation. **Brazilian Journal of Geology**. **45**. 13-27. 2015.
- BARRERA, I. A. R., NOGUEIRA, A. C., BANDEIRA, J. The Silurian in the eastern Parnaíba Basin, Brazil: paleoenvironment, sequence stratigraphy and insights for the evolution and paleogeography of West Gondwana. **Sedimentary Geology**. **406**. 105714. 2020.
- BRENCHLEY P.J., MARSHALL J.D., CARDEN G.A.F., ROBERTSON D.B.R., LONG D.G.F., MEIDLÀ T., HINTS L., ANDERSON T.F. Bathymetric and isotopic

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

evidence for a short lived Late Ordovician glaciation in a greenhouse period. **Geology**. 22: 295-298. 1994.

BRITO NEVES B.B., FUCK R.A., CORDANI U.G., THOMAZ F. A. Influence of basement structures on the evolution of the major sedimentary basins of Brazil: a case of tectonic heritage. **Journal of Geodynamics**. 1: 495–510. 1984.

CAPUTO M. V. & DOS SANTOS R. O. Stratigraphy and ages of four Early Silurian through Late Devonian, Early and Middle Mississippian glaciation events in the Parnaíba Basin and adjacent areas, NE Brazil. **Earth-Science Reviews**. 103002. 2019.

CAPUTO M.V. Late Devonian Glaciation in South America. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 51:291-317. 1985.

CAPUTO M.V., RODRIGUES R., VASCONCELOS D.N.N. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas, Belém. Relatório Interno, 641-A PETROBRÁS. 92 p. 1971.

CAPUTO, M.V. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. PhD Thesis. University of California. Santa Barbara. 583p. 1984.

CAPUTO, M.V., & CROWELL, J. Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic Era. **Geological society of America Bulletin**. 96:1020-1036. 1985.

CAROZZI A.V., FALKENHEIN F.U.H., CARNEIRO R.G., ESTEVES F.R., CONTREIRAS C.J.A. Análise ambiental e evolução tectônica sin-sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. Exploração de Petróleo – PETROBRAS 7. 1975.

CAROZZI A.V., PAMPLONA H.R.P., CASTRO J.C., CONTREIRAS C.J.A. Ambientes deposicionais e evolução tectono-sedimentar da seção clástica paleozóica da Bacia do Médio Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27, São Paulo, Anais, SBG, v. 3, p. 279-314. 1973.

COSTA J.B.S., NOGUEIRA A.C.R., GÓES A.M., TRUCKENBRODT W. Evidências de tectônica glacial na Formação Cabeças, Devoniano Superior, SW da Bacia do Parnaíba. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém, Boletim de resumos expandidos, p. 51-53. 1994.

CUNHA P.R.C., GONZAGA F.G., COUTINHO L.F.C., FEIJÓ F.J. Bacia do Amazonas, **Boletim de Geociências da Petrobras**. 8:47-55. 1994.

DALY M.C., ANDRADE V., BAROUSSE C.A., COSTA R., McDOWELL K., PIGGOTT N., POOLE A.J. Brasiliiano crustal structure and the tectonic setting of the Parnaíba basin of NE Brazil: results of a deep seismic reflection profile. **Tectonics**. 33: 2102–2120. 2014.

DAVYDOV, V. KORN, D. SCHIMITZ, M. The Carboniferous periods. In Gradstein, F. Ogg, J. Schmitz, M. Ogg, G. (eds). Geological time scale. Amsterdam. Elsevier. p. 603-651. 2012.

- DAVYDOV, V.I., CROWLEY, J.L., SCHMITZ, M.D., POLETAEV, V.I. High precision U-Pb zircon age calibration of the global Carboniferous time scale and Milankovitch-band cyclicity in the Donets Basin, eastern Ukraine. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11 Q0AA04. 2010.
- DE CASTRO D.L., FUCK R.A., PHILLIPS J.D., VIDOTTI R.M., BEZERRA F.H.R., DANTAS E.L. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data. *Brazil. Tectonophysics*. 614: 128–145. 2014.
- EYLES C.H. & EYLES N. Glacial Deposits. In: James N.P. & Dalrymple R.W. (eds.). *Facies Model 4*. Geological Association of Canada, p. 73-104. 2010.
- FERNLUND J.M.R. The Halland coastal moraines: are they end moraines or glaciotectonic ridges? In: Croot D.G. (ed.). *Glaciotectonics: forms and processes*, A.A Balkema/Brookfield, p. 77-90. 1988.
- FIELDING C.R., BLACKSTONE B.A., FRANK T.D., GUI Z. Reservoir potential of sands formed in glacio-marine environments: an analogue study based on Cenozoic example from McMurdo Sound, Antarctica. In: Huuse M., Redfern J., Le Heron D., Dixon R.J., Moscariello A., Craig J. (eds). *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems*. Geological Society, London, Special Publication, 368, p. 211-228. 2012.
- GHIENNE J.F. Late Ordovician sedimentary environments, glacial cycles, and postglacial transgression in the Taoudeni Basin, West Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 189: 117–145. 2003.
- GRAHN Y. & CAPUTO M.V. Early Silurian glaciations in Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 99: 9–15. 1992.
- GRAHN Y. & PARIS F. Age and correlation of the Trombetas Group, Amazonas Basin. *Revue de Micropaléontologie*. 35:197-209. 1992.
- GRAHN Y. Ordovician chiyinozoa and biostratigraphy of Brazil. *Geobios*. 6:703-723. 1991.
- HAQ, B. & SCHUTTER, S. A chronology of Palaeozoic sea level changes. *Science*. 322. 64-68. 2008.
- ISAACSON P.E., DÍAZ-MARTÍNEZ E., GRADER G.W., KALVODA J., BABEK O., DEVUYST F.X. Late Devonian-earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 268:126-142. 2008.
- KESSLER T.C., KLINT K.E.S., NILSSON B., BJERG P.L. Characterization of sand lenses embedded in tills. *Quaternary Science Reviews*, 53:55-71. 2012.
- LE HERON D., BUSFIELD M., KAMONA F. An interglacial on snowball Earth? Dynamic ice behaviour revealed in the Chuos Formation, Namibia. *Sedimentology*. 60: 411-427. 2012.
- LOBOZIAK S., CAPUTO M.V., MELO J.H.G. Middle Devonian – Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba Basin, north-central Brazil. *Revue de Micropaléontologie*. 43(4):301-318. 2000.

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

- NIELSEN M.H. Glaciotectonic unconformities in Pleistocene stratigraphy as evidence for the behaviour of former Scandinavian ice sheets. In: Croot D.G. (ed.). *Glaciotectonics: forms and processes*. Rotterdam, Balkema, p. 91-99. 1988.
- ROCHA-CAMPOS A.C., CANUTO J.R., SANTOS P.R. Late Paleozoic glaciotectonic structures in northern Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*. 130:131-143. 2000.
- SALTZMAN, M.R. The Late Paleozoic ice age: oceanic gateway or pCO₂? *Geology*. 31, 151 – 154. 2003.
- SCOTESE, C.R. et al., Gondwanan paleogeography and paleoclimatology. *Journal of African Earth Sciences*, 28 (1):99-114, 1999.
- SOARES E.A.A., TRUCKENBRODT W., NOGUEIRA A.C.R. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. 2:105-132. 2005.
- STREEL M., CAPUTO M.V., LOBOZIAK S., MELO J.H.G. Late Frasnian Famennian climates based on palynomorph quantitative analyses and the question of the Late Devonian glaciations. *Earth Science Reviews*. 52:121-173. 2000.
- VANDER WATEREN D. Structural geology and sedimentology of the Dammer Berge push moraine. In: van der Meer J.J.M. (ed.). *Tills and glaciotectonics*. Balkema, Rotterdam, p. 157-182. 1986.
- VAZ P.T., REZENDE N.G.A.M., WANDERLEY FILHO J.R., TRAVASSOS W.A.S. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*. 15(2):253-263. 2007.
- VESELY F.F., ROSTIROLLA S.P., APPI C.J., KRAFT R.P. Late Paleozoic glacially related sandstone reservoirs in the Paraná Basin, Brazil. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 91:151-160. 2007.
- VISSEER J.N.J. Deglaciation sequences in the Permo-Carboniferous Karoo and Kalahari basins of southern Africa: a tool in the analysis of cyclic glaciomarine basin fills. *Sedimentology*. 44: 507 – 521. 1997.

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido com apoio técnico do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará (UFPA), e financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).



GLACIAÇÃO NO PIAUÍ: UM OLHAR SOBRE O PAVIMENTO DE ESTRIAS GLACIAIS EM CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ

GLACIATION IN PIAUÍ: A LOOK AT THE GLACIAL STRIATED PAVEMENT IN CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ

Liliane Alcântara Araújo¹* & Érico Rodrigues Gomes²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; lilianealcantara07@gmail.com;

ORCID: 0000-0002-4558-5597

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; erico.gomes@ifpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-1942-1396

RESUMO: O presente artigo trata-se de uma pesquisa bibliográfica cujo objetivo é mostrar a importância científica do geosítio Pavimento de Estrias Glaciais, situado em Calembre, Brejo do Piauí, abordando três aspectos principais: inicialmente a caracterização da área, em seguida uma breve explanação sobre a relevância científica do afloramento de estrias glaciais e um levantamento dos principais desafios para a preservação desse patrimônio. Por fim há uma reflexão acerca das ações que vem ser consideradas para garantir a proteção desse geosítio.

Palavras-chave: Geoconservação, Patrimônio Geológico, Pavimento Estriado, Geodiversidade

ABSTRACT: The present article is a bibliographical research whose objective is to show the scientific importance of the glacial striated pavement geosite, located in Calembre, Brejo do Piauí, approaching three main aspects: initially the characterization of the area, followed by a brief explanation about the scientific relevance of the outcrop of glacial stria, a survey of the main challenges for the preservation of this heritage. Finally there is a reflection on the actions that have been considered to ensure the protection of this geosite.

Keywords: Geoconservation, Geological Heritage, Striated Pavement, Geodiversity

1 Introdução

Segundo Assine e Vesely (2008), os estágios de elevação e diminuição da temperatura do planeta foram importantes fatores que contribuíram para a qualificação da evolução geológica global. O momento do arrefecimento do planeta foi marcado pelo avanço das geleiras que por inúmeras vezes recobriam grandes áreas continentais, originando as glaciações, quando as geleiras constituem imprescindível função na escultura do relevo terrestre.

Conforme Caputo e Ponciano (2010) a capacidade de movimentar-se pela ação da gravidade constitui a principal característica das geleiras. Elas carreiam em sua base,

GLACIAÇÃO NO PIAUÍ: UM OLHAR SOBRE O PAVIMENTO DE ESTRIAS GLACIAIS EM CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ

fragmentos rígidos de rochas. E o atrito da geleira durante seu movimento sobre um substrato rochoso menos resistente, ocasiona a formação dos pavimentos estriados.

Deve-se considerar aqui as palavras de Delphim (2004) quando afirma que o patrimônio histórico e artístico nacional estabelecido na legislação, é composto pelo agrupamento de bens móveis e imóveis presentes no país, do qual a preservação é de interesse público, por estar ligado a fatos históricos memoráveis ou possuírem notável valor arqueológico, bibliográfico, etnográfico ou artístico. De maneira análoga a esses bens, os quais são assemelhados, são vistos os monumentos naturais, os sítios e as paisagens que devem ser conservadas e protegidos pelo aspecto famigerado com que foram beneficiados pela natureza ou agenciados pela indústria humana.

O pavimento estriado de Brejo do Piauí registra uma parte importante da história da Terra, auxiliando os estudos da climatologia e reconstituições paleogeográficas¹ (CAPUTO E PONCIANO, 2010).

O presente artigo tem como objetivo apresentar por meio de uma visita in loco e uma revisão bibliográfica sobre a importância científica do pavimento de estrias glaciais, situado no povoado Calembre. Este geosítio é apresentado sob três aspectos: 1) Caracterização da área. 2) Relevância científica dos pavimentos estriados e 3) Desafios para a preservação das estrias glaciais.

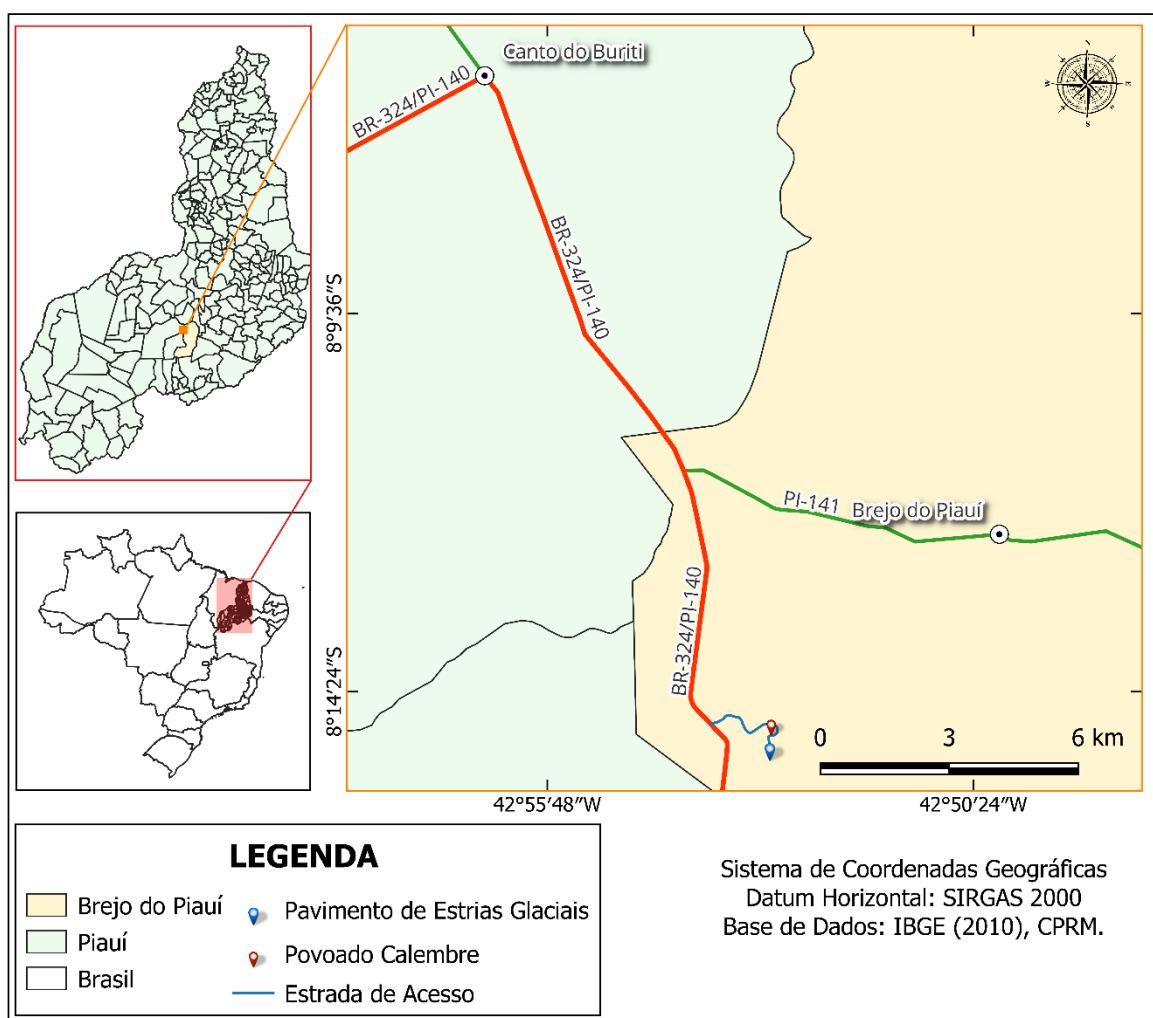
2 Desenvolvimento

2.1 Caracterização da Área

O sítio geológico está situado no povoado Calembre, zona rural do município de Brejo do Piauí, a 423 km ao sul do capital do estado do Piauí. O acesso principal ao pavimento localiza-se a 21 km ao sul do centro de Canto do Buriti através da rodovia PI-140 (Figura 01).

Figura 01 – Localização e acesso para o Pavimento de Estrias Glaciais de Calembre.

¹ Estudo e descrição da geografia física do passado geológico como, por exemplo, a reconstituição da distribuição dos antigos continentes e mares.



Os primeiros registros a respeito da existência de afloramentos de estrias glaciais na Bacia Sedimentar do Parnaíba foram feitos por Malzahn (1957), que relatou em seu trabalho, a existência de uma superfície estriada de tilito. Este mesmo pavimento foi também descrito por Bigarella (1973), que caracterizou os sulcos contendo profundidade de 5 cm e a existência de diamictitos com espessura de 3,5m. Segundo Ponciano (2009) tais estrias, cristas e sulcos tem sua orientação média de N60°W, indicando o deslocamento das geleiras no sentido sudeste – noroeste.

Conforme Barros (2020), as estrias glaciais são uma evidência direta de glaciação neodevoniana, do supercontinente Gondwana Ocidental. O geosítio caracteriza-se pela presença de um pavimento horizontal, plano, estriado, resultantes do atrito da movimentação de uma geleira, contendo clastos com tamanhos variados, alguns com fisionomia de abrasão glacial, alinhados, presos ao arenito, tendo sido cimentados pelo óxido de ferro. Integram a Formação Cabeças, na Bacia Sedimentar do Parnaíba (Figuras 02 e 03).

Figura 02 – Vista geral do Pavimento de Estrias Glaciais de Calembre. Imagem superior, vista de sudeste para noroeste. Imagem inferior, de noroeste para sudeste.

**GLACIAÇÃO NO PIAUÍ: UM OLHAR SOBRE O PAVIMENTO DE ESTRIAS GLACIAIS
EM CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ**



Fonte: autores

Figura 03 – A esquerda, clastos alinhados, paralelos à estria. A direita, destaca clasto polido e facetado pelo atrito com a geleira.



Fonte: autores

2.2 Relevância Científica dos pavimentos estriados

Caputo & Crowell (1985) especificam que no registro geológico das bacias sedimentares paleozóicas brasileiras, foram reconhecidos vários períodos de glaciações, dentre as quais observou-se a ocorrência de uma no final do devoniano. Em seguida à confirmação da glaciação neodevoniana é que se começaram os estudos desses afloramentos de Calembre com maiores detalhes.

Os autores supracitados relatam ainda que mesmo com a glaciação se expandindo por todas as bacias sedimentares paleozoicas do Brasil, afloramentos de estrias glaciais do período do Devoniano foram identificadas restritamente na Bacia do Parnaíba, sendo estas de Calembre, as mais notáveis evidências deste evento glacial.

Isaacson *et al.* (1999) explicitam que evidências sedimentológicas, paleontológicas e geoquímicas indicam mesmo que de forma indireta, que o fenômeno da glaciação ocorreu de maneira análoga em vários continentes, onde observou-se diminuição do nível do mar, redução da biodiversidade e extinção da fauna no fim do Devoniano.

Segundo Caputo (2010) os afloramentos de estrias glaciais são o registro da glaciação ocorrida em um determinado período da história geológica. Possibilitam a observação da direção e o sentido no qual as geleiras se locomoveram, contribuindo significativamente para os estudos dos paleoambientes deposicionais, além de reconstituições paleogeográficas, sendo também reconhecida a sua relevância paleoclimática.

GLACIAÇÃO NO PIAUÍ: UM OLHAR SOBRE O PAVIMENTO DE ESTRIAS GLACIAIS EM CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ

Segundo Vesely *et al.* (2002), os pavimentos glaciais são de grande importância estratigráfica, pois registram eventos maiores de avanço de geleiras. Caputo (2010) explica que o geosítio pavimento de estrias glaciais de Calembre, afirma-se como um local de suma importância para a paleoclimatologia do final do Devoniano.

Para Caputo e Ponciano (2010) o período de glaciação no final do Devoniano foi um evento global, contemplando parte do supercontinente Gondwana Ocidental e se estendendo até uma parte do supercontinente Laurásia.

Barros (2020) destaca que o evento glacial do Devoniano atingiu todas as grandes bacias sedimentares paleozóicas brasileiras, africanas e a bacia apalachiana. E o Pavimento de Estrias Glaciais encontradas em Calembre são os melhores registros em superfície, deste evento glacial, o que confere a este sítio uma relevância e importância ímpar, do ponto de vista estratigráfico, geomorfológico, sedimentológico, paleoambiental, histórico/cultural, com grande potencial turístico e científico.

2.3 Desafios para preservação das estrias glaciais em Calembre

De acordo com Caputo (2010) o fato dos afloramentos de estrias glaciais se limitarem a superfície do pavimento, o configura como um registro geológico de difícil preservação. Apesar das dificuldades de manutenção de tais evidências geológicas, o afloramento que se encontra no município de Brejo do Piauí, revela-se em excelente estado de preservação.

Este autor ainda explica que o sítio se encontra numa região rural, sem perspectivas de desenvolvimento urbano ou industrial. Devido à falta de esclarecimentos sobre sua importância, há marcas de clastos que foram arrancados do pavimento. O fluxo de veículos constitue ameaça à sua preservação. Localmente, o afloramento está sendo destruído pela erosão superficial e pelas águas de um riacho que atravessa o local.

Barros (2020) propôs a preservação da área que concentra o pavimento de estrias glaciais (Figura 04). Destaca uma estrada que passa por cima do geosítio, causando danos irreversíveis à sua preservação.

Durante o reconhecimento da área, foram identificados mais dois danos ao pavimento de estrias: a tentativa de construção de uma cerca e a passagem de um cano de água do povoado Calembre para uma residência situada do outro lado do pavimento (Figura 05).

Figura 04 – Vista da área contendo o Pavimento de Estrias Glaciais de Calembre, a ser preservada.

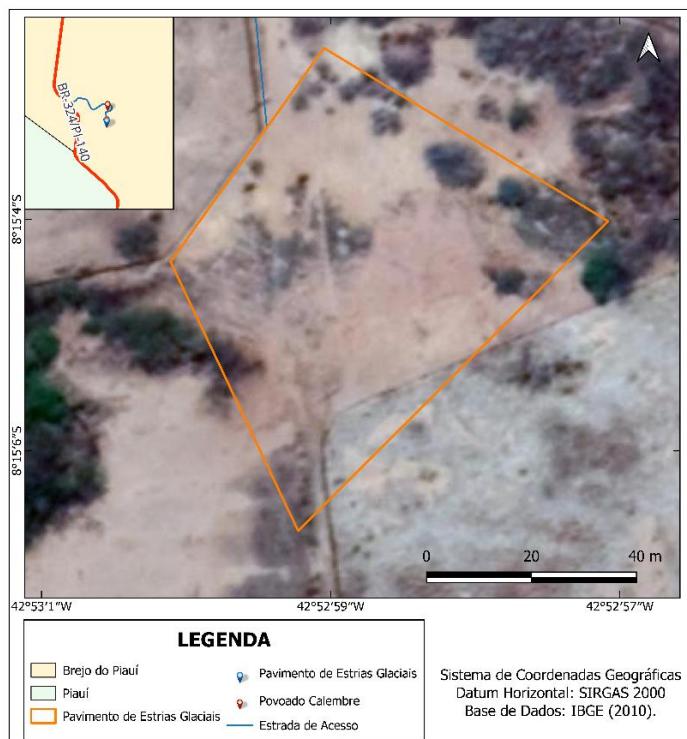


Figura 05 – A esquerda, fundação de uma cerca construída sobre o pavimento. A direita, instalação de cano para água.

GLACIAÇÃO NO PIAUÍ: UM OLHAR SOBRE O PAVIMENTO DE ESTRIAS GLACIAIS EM CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ



Fonte: autores

3 Considerações finais

O artigo aborda os principais aspectos do sítio geológico Pavimento de Estrias Glaciais, situado no Povoado Calembre, zona rural do município de Brejo do Piauí. Apesar de apresentar um valor científico inestimável, não existem ações para a sua preservação, tornando esse pavimento ainda mais vulnerável, mesmo se tratando de um patrimônio natural fiscalizado pelo IPHAN, é urgente o desenvolvimento de ações que permitam a ressignificação desse espaço pela própria população que reside nas imediações deste pavimento.

Além do que já fora mencionado, é importante ressaltar que ações de conscientização da população devem ser implementadas para garantir a preservação deste patrimônio geológico de valor inestimável.

Nesse sentido, Brilha (2016) descreve a finalidade da geoconservação como a identificação, proteção e gestão dos constituintes de inestimado valor da geodiversidade que se apresentam distribuídas de forma ampla pelo planeta.

Dentro desse contexto, a geoconservação se configura como um importante aspecto a ser considerado para a preservação deste geossítio. Nesse sentido (Barros, 2020) o cadastrou

no Projeto do Mapa do Patrimônio Geológico da América do Sul, executado pelo SBG/CPRM em parceria com a UNESCO - *WORLD HERITAGE COMMITTEE (WHC)*.

Covello, Horn Filho e Brilha (2018) consideram que uma boa maneira de colaborar para a consolidação da cultura e do desenvolvimento sustentável é a ação conjunta do reconhecimento do patrimônio geológico e da implementação de estratégias de geoconservação. Todavia, para que isso aconteça é necessário que esse patrimônio seja conhecido pela comunidade, e que a mesma participe das decisões e atividades relacionadas a geoconservação. Somente desta maneira, pode de fato contribuir para a preservação destes locais, se apropriando destes ambientes, tornando os mesmos, parte de suas atividades econômicas.

Referências bibliográficas

- ASSINE, M.L. & VESELY, F. F. "Ambientes glaciais." **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca (2008): 24-51.
- BARROS, J. S. **Pavimento Estriado de Calembre, Brejo do Piauí**: Evidência direta da glaciação neodevoniana do supercontinente Gondwana ocidental. Projeto Mapa do Patrimônio Geológico da América do Sul Área 7: Bacia do Parnaíba. SGB-CPRM, 2020.
- BIGARELLA, J. J. **Paleocorrentes e deriva continental**. Boletim Paranaense de Geociências, 31: 141-224, 1973.
- BRILHA, J. **Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review**. Geoheritage, 8(2): 119–134, 2016.
- CAPUTO, M.V.; CROWELL, J.C. **Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic Era**. Geological Society of America Bulletin, 96:1020-1036, 1985.
- CAPUTO, M.V.; PONCIANO, L.C.M.O. Pavimento Estriado de Calembre, Brejo do Piauí – Registro de Geleiras Continentais há 360 milhões de anos no Nordeste do Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; BERBERT-BORN, M.; SALLUN FILHO, W.; QUEIROZ, E.T.; (Eds.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Publicado na Internet em 01/07/2010 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio052/sitio052.pdf> [atualmente <http://sigep.cprm.gov.br/sitio052/sitio052.pdf>].
- COVELLO, C.; HORN FILHO, N.O. & BRILHA, J. O Patrimônio Geológico do Município de Florianópolis, Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 45: e0668, 2018. DOI:<https://doi.org/10.22456/1807-9806.85646>
- DELPHIM, C. F. de M. **O Patrimônio Natural do Brasil**. Rio de Janeiro: IPHAN. 20p, 2004.
- ISAACSON, P.; HLADIL, J.; SHEN, JIANWEI & KALVODA, JIRI & GRADER, GEORGE. Late Devonian (Famennian) glaciation in South America and marine offlap on other continents. In: FEIST, R., TALENT, J.A., DAURER, A. (Eds.), **North Gondwana: Mid-Paleozoic Terranes, Stratigraphy and Biota**. Abh. Geol. Bund. 54. 239–257, 1999.

GLACIAÇÃO NO PIAUÍ: UM OLHAR SOBRE O PAVIMENTO DE ESTRIAS GLACIAIS EM CALEMBRE, BREJO DO PIAUÍ

MALZAHN, E. Devonisches Glazial in Staate Piauí (Brasilien), ein neuer Beitrag zur Eiszeit des Devons. **Beihefte zum Geologischen**, 25: 1-30, 1957.

PONCIANO, L.C.M.O. **Tafofácies da Formação Cabeças, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 100p., 2009.

VESELY, F. F.; ASSINE, M. L. Superfícies Estriadas em Arenitos do Grupo Itararé Produzidas por Gelo Flutuante, Sudeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 587-594, 2002.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI pelo apoio à realização do projeto de Trabalho de Conclusão de Curso da primeira autora deste artigo, sob orientação do segundo autor. As ações de educação ambiental e patrimonial serão realizadas no povoado Calembre em 2022.



ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

Nicole Lopes Padilha¹, Gabriel Bertolini², Juliana Charão Marques³, Ana Maria Góes⁴, Afonso César Rodrigues Nogueira⁵, Renato Sol Paiva de Medeiros⁶, Luiz Saturnino de Andrade⁷, Argel de Assis Nunes Sodré⁸, Denise Moreira Canarim⁹, Paulo A. Souza¹⁰, Ana Karina Scomazzon¹¹, Edvaldo José Oliveira¹², João Miguel Maraschin Santos¹³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul; nicolelopespadilha@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1952-4122

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul; gabertol@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3873-6190

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul; juliana.marques@ufrgs.br; ORCID: 0000-0003-0143-6925

⁴Universidade de São Paulo; amgoes@usp.br; ORCID: 0000-0001-8575-1935

⁵Universidade Federal do Pará; anogueira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5225-9255

⁶Universidade Federal do Pará; renato.solgeo@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1202-0143

⁷Universidade Federal do Pará; geoandrade.sl@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7168-8787

⁸Universidade Federal do Pará; argel.sodre@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5190-9623

⁹Universidade Federal do Rio Grande do Sul; denise.canarim@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-5212-6834

¹⁰Universidade Federal do Rio Grande do Sul; paulo.alves.souza@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-9844-1530

¹¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-2664

¹²Universidade Federal do Rio Grande do Sul; contato.oedvaldo@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3730-8511

¹³Universidade Federal do Rio Grande do Sul; marascajao@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2128-7373

RESUMO: O método de datação geocronológica U-Pb em zircão detritico é uma técnica para reconstruções de ambientes sedimentares do passado. Datações utilizando o método LA-ICP-MS em zircão são amplamente utilizadas em estudos de proveniência sedimentar devido à sua utilização como traçador de áreas-fontes e misturas entre sistemas sedimentares. Neste artigo, revisamos o mineral zircão e seu potencial como geocronômetro, a preparação e análise de zircão com o método U-Pb e as técnicas de estatística e de visualização de dados geocronológicos. Além disso, trazemos exemplo esquemático da aplicação das assinaturas geocronológicas em zircão detritico em ambientes sedimentares atuais, no registro geológico, e na Bacia do Parnaíba. No contexto do Projeto Bicronorte, estudos de proveniência que envolvem datações U-Pb em zircão detritico, darão suporte a reconstruções paleogeográficas e correlações com áreas vizinhas. Este tipo de informação é chave para o entendimento dos processos geológicos que afetam a superfície da Terra ao longo de milhões de anos.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba. Geocronologia U-Pb. Proveniência sedimentar. Zircão detritico.

ABSTRACT: U-Pb geochronology in detrital zircon is a technique applied for ancient sedimentary systems reconstructions. U-Pb dating using the LA-ICP-MS method in zircon is widely applied in sedimentary provenance studies due to its ability to track source areas and detritus mixtures within sedimentary environments. In this article, we revise the mineral zircon and its potential as geochronometer, the sample preparation and the analysis via U-Pb geochronology, as well as the statistical and visualization techniques to deal with geochronology data. Furthermore, we exemplified the application of detrital zircon geochronology signatures in modern environments and in the sedimentary register, and finally, in the context of Parnaíba Basin. In the context of the Bicronorte Project, provenance studies involving U-Pb detrital zircon dating will support paleogeographic reconstructions and correlations with neighboring areas. This type of information is key on the understanding of the geological processes that affect the earth's surface over millions of years.

Keywords: Detrital zircon. Parnaíba Basin. Sedimentary provenance. U-Pb geochronology.

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

1 Introdução

As idades obtidas por análise geocronológica em cristais de zircão tem sido uma importante ferramenta para os estudos de proveniência sedimentar. O zircão é considerado o melhor mineral marcador de idades geocronológicas por meio do uso do sistema de decaimento radioativo U-Th-Pb. Esse mineral é formado na cristalização de rochas magmáticas - como granitos e riolitos - e em metamórficas – como, por exemplo, em gnaisses. Durante o processo de erosão, o zircão é liberado, transportado e incorporado nos sedimentos que serão transformados em rocha sedimentar detritica, por isso é chamado de zircão detritico. O uso de datações de zircões detriticos vem se tornando cada vez mais popular devido ao barateamento de técnicas de datação *in situ* utilizando ablação a laser acoplada a espectrômetro de massa com indução por plasma (LA-ICP-MS). Essa técnica de proveniência sedimentar deriva do campo de estudos da geocronologia – ampla área da Geologia que abrange a datação de rochas e minerais por meio de análises químicas de isótopos radiogênicos. O zircão tem duas características muito importantes para os estudos de proveniência: (i) resistência química e física aos processos superficiais, o que permite sua preservação nos ambientes sedimentares; (ii) e manutenção do registro do decaimento do sistema U-Th-Pb.

Este artigo busca, de maneira sintética, revisar: (i) conceitos e definições de proveniência sedimentar e datação de rochas; (ii) o mineral zircão, em especial, na sua forma detritica; (iii) conceitos de geocronologia U-Pb em zircão - apresentando sistemática e métodos de datação, técnicas de preparação de amostra e imageamento, ferramental técnico utilizado, análise estatística para a obtenção de idade e de proveniência – (iv) aplicações práticas de estudo de proveniência com zircão detritico em ambientes sedimentares atuais e do passado; (v) e revisão de estudos de proveniência com U-Pb em zircão na Bacia do Parnaíba.

2 O que é proveniência sedimentar?

As rochas são arquivos naturais da história da Terra que registram sua evolução ao longo do tempo geológico. As rochas sedimentares são aquelas que têm sua formação acoplada aos processos superficiais do planeta; em geral, são retratos dos ambientes deposicionais sob controle do clima e tectônico. Elas registram, por exemplo, eventos climáticos extremos, a história tectônica de aglutinação e rompimento dos continentes, a evolução da vida e as extinções em massa. A sedimentologia destas rochas documenta informações sobre composição mineral, granulometria, seleção e forma dos grãos, que contam a história dos processos intempéricos e erosivos ocorridos na área-fonte. Além de quantificar as misturas e abrasão/arredondamento durante transporte e, por fim, seu impacto na deposição das rochas (GARZANTI, 2016). O ramo da proveniência sedimentar que se preocupa com a origem e modificações dos sedimentos por processos superficiais terrestres é denominado *source-to-sink* (BASU, 2017; WELTJE; EYNATTEN, 2004). Este conceito envolve a compreensão e quantificação dos processos atuantes ao longo do ciclo sedimentar, que é composto em geral por intemperismo e erosão, transporte, deposição e soterramento (ALLEN, 2017; MAZUNDER, 2017).

3 O que é a datação das rochas?

O tempo do planeta Terra, chamado de tempo geológico, é contado a partir de uma escala de bilhões de anos. Por conta disto, ele também é chamado por alguns autores de tempo profundo. Comparado à escala da vida humana, é difícil imaginar a magnitude do tempo geológico e tudo que ocorreu na Terra desde sua formação: todas as montanhas que foram soerguidas e erodidas; todos os vulcões que entraram em erupção e adormeceram; todos os animais e plantas que já surgiram e se extinguiram. É para descobrir e escrever esta história que os geólogos e paleontólogos estudam as rochas e os fósseis, que são capazes de registrar a evolução das paisagens da Terra ao longo do seu tempo profundo. A área de estudo que se responsabiliza pelas investigações acerca do tempo geológico é a Geocronologia. Para determinar as idades das rochas, são utilizadas técnicas sofisticadas de datação, seja de forma relativa (p. ex.: bioestratigrafia) ou absoluta (p. ex.: minerais radiogênicos). Dentre esta última, uma delas é o método U-Pb, no qual se analisam os decaimentos dos isótopos de urânio (U) e tório (Th) em chumbo (Pb) que ocorrem, por

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

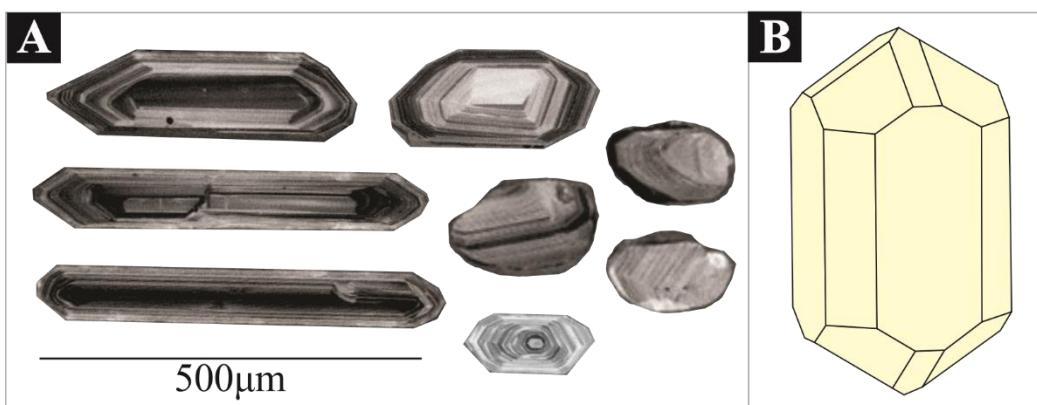
exemplo, no zircão, um mineral muito importante para a Geocronologia (REINERS et al., 2017).

4 Zircão, o guardião do tempo

Como destacado na revisão de Harley e Kelly (2007), o zircão pode ser considerado o mais importante geocronômetro. O zircão, representado pela composição química $ZrSiO_4$, é um mineral muito utilizado para diversos estudos em Geologia, pois é um mineral acessório comum na crosta terrestre, onde é encontrado em rochas sedimentares, ígneas ou metamórficas (Figura 1A). Durante a cristalização do mineral, os elementos que o compõem são ordenados conforme um arranjo cristalino que formam sua estrutura. No zircão, este arranjo é chamado de bipiramidal ditetragonal (Figura 1B). Esta estrutura cristalina do zircão o caracteriza como resistato, isto é, um mineral com capacidade de, eventualmente, resistir ao intemperismo, às mudanças diagenéticas e aos processos de transporte de sedimentos; e de registrar em sua morfologia feições de cristalização e recristalização (CORFU, 2003; RUBATTO et al., 2018). Por conta disto, o zircão é um mineral muito utilizado tanto em investigações geoquímicas, como em estudos geocronológicos e sobre a evolução da crosta terrestre e do manto (FINCH; HANCHAR, 2003). Os zircões podem apresentar uma complexidade enorme de morfologias e texturas, como mostrado no trabalho de Corfu (2003), dentre outros. Para escolher os zircões a serem analisados em cada estudo, são utilizados diferentes critérios científicos de acordo com os objetivos específicos (RUBATTO et al., 2018; VERMEESCH, 2004; VERMEESCH, 2021;).

Especificamente o zircão detritico, que é encontrado nas rochas sedimentares e metassedimentares, é utilizado em análises geocronológicas por meio de datação U-Pb para estudos de proveniência, de evolução tectônica e estudos sedimentológicos (e.g. CAWOOD et al., 2012; GERDES; ZEH, 2006; GERHELS et al., 2011). Além disto, a datação de zircões detriticos pode contribuir também para fornecer a idade de máxima deposição de bacias sedimentares (DICKINSON; GEHRELS, 2009), estudo relevante para a correlação estratigráfica entre unidades das bacias.

Figura 1.A. Imagem de catodoluminescência de zircões de diferentes tipos de rochas; B. Estrutura cristalográfica do zircão, chamada de tetragonal.



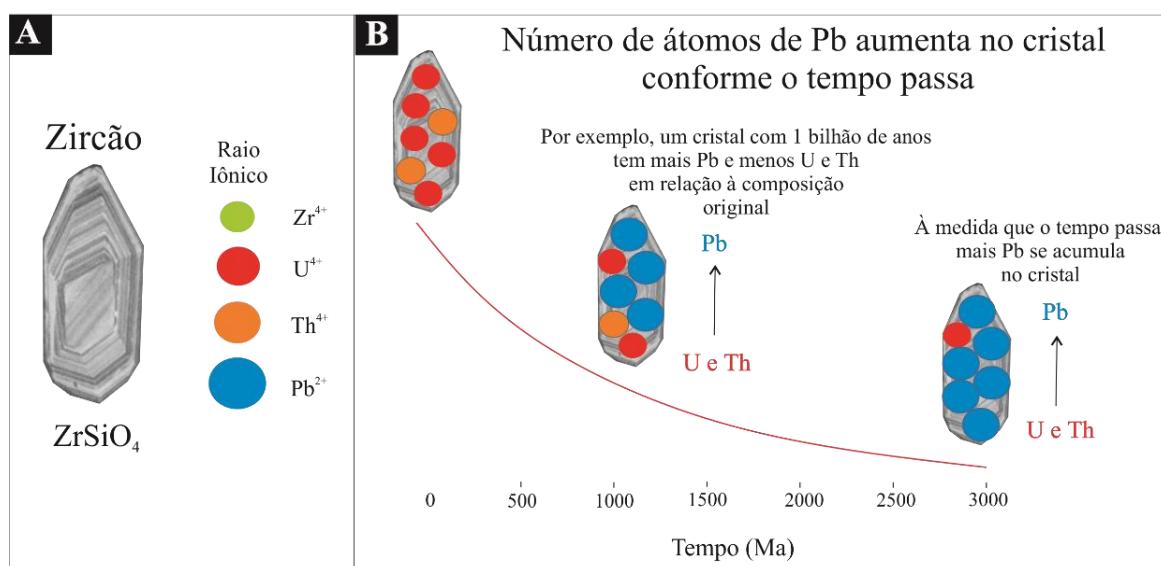
Fonte: Elaborado pelos autores.

Alguns elementos menores e traços podem ser incorporados à estrutura cristalina do zircão por meio da substituição química simples, que é controlada pelos raios iônicos dos cátions substitutos em comparação aos cátions Zr^{+4} e Si^{+4} (HARLEY; KELLY, 2007). Neste caso, U^{+4} (1,05 Å) e Th^{+4} (1,10 Å) podem substituir Zr^{+4} (0,87 Å), mas Pb^{+2} (1,32 Å) dificilmente será incorporado na estrutura do zircão durante o processo de cristalização do mineral por conta de seu raio iônico maior. Sendo assim, o zircão pode incorporar altos teores de urânio (U) e tório (Th) durante sua formação e crescimento, mas não chumbo (Pb) (Figura 2A).

O chumbo (Pb) presente na estrutura do zircão se deve ao decaimento do urânio (U) e do tório (Th). Em função disto, a utilização do zircão na área da geocronologia é baseada nas seguintes séries de decaimento radioativo: $^{238}U \rightarrow ^{206}Pb$; $^{235}U \rightarrow ^{207}Pb$; e $^{232}Th \rightarrow ^{208}Pb$ (Figura 2B). Cada uma destas três séries envolve várias etapas e isótopos intermediários de meia vida curta, mas todo o processo de decaimento pode ser matematicamente descrito por uma única equação de decaimento que relaciona o número de isótopos pais finais, o número de isótopos filhos radiogênicos finais e o tempo (HARLEY; KELLY, 2007).

Figura 2.A. Cristal de zircão e os raios iônicos dos elementos U e Th, que podem ser incorporados no lugar do Zr; e Pb, que não ocupa este lugar durante a cristalização; **B.** Por conta do decaimento radioativo ao longo do tempo, o zircão acumula mais Pb e menos U e Th em relação à composição original do cristal.

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 Geocronologia U-Pb

5.1 Geocronologia U-Pb: como funciona afinal?

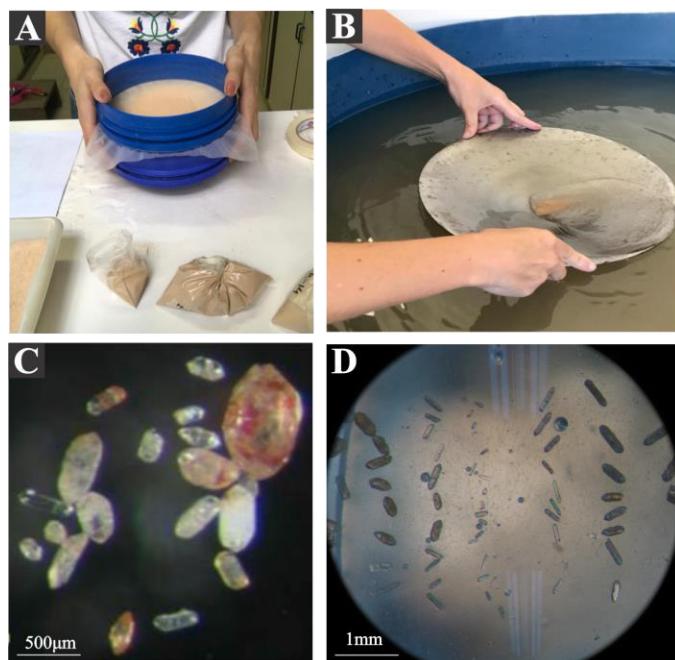
A datação pelo método U-Pb é uma técnica que pode ser aplicada a todos os minerais que contêm estes elementos químicos. No entanto, neste trabalho, destaca-se esta técnica aplicada para datação U-Pb em zircão detritico especificamente. A partir disto, utilizam-se alguns requisitos para execução e utilidade do método. Primeiro, considera-se que o sistema isotópico esteve fechado durante a cristalização do mineral, isto é, sem perdas ou ganhos de isótopos; segundo, que o sistema se preservou assim ao longo da história do mineral; e terceiro, que a datação é fundamentada nas constantes de decaimento. Portanto, a idade do zircão detritico, que é o foco deste trabalho, reflete a idade de sua fonte, auxiliando também na reconstrução paleogeográfica juntamente com outros estudos, como os estratigráficos e os paleontológicos.

5.2 Preparação e imageamento dos zircões

A datação de zircão por meio do método U-Pb é realizada, inicialmente, com a preparação das amostras, que consiste na aquisição dos concentrados de zircão a partir de procedimento padrão de separação mineral. Em geral, este procedimento resume-se na seguinte sequência de preparação das amostras (Figura 3): i) desagregação inicial; ii) moagem, se necessário; iii) peneiramento; iv) bateamento; v) separação da fração não-

magnética; e vi) separação por líquidos densos. A partir disto, é feita a fabricação das seções com os zircões (*mounts*), etapa em que os cristais são montados em resina epóxi, polidos com lixa e pasta diamantada e, então, lavados para evitar contaminação de chumbo.

Figura 3. Resumo do procedimento geral de preparação das amostras: A. Peneiramento da amostra; B. Bateamento da amostra; C. Concentrado de zircões; D. Mount pronta.

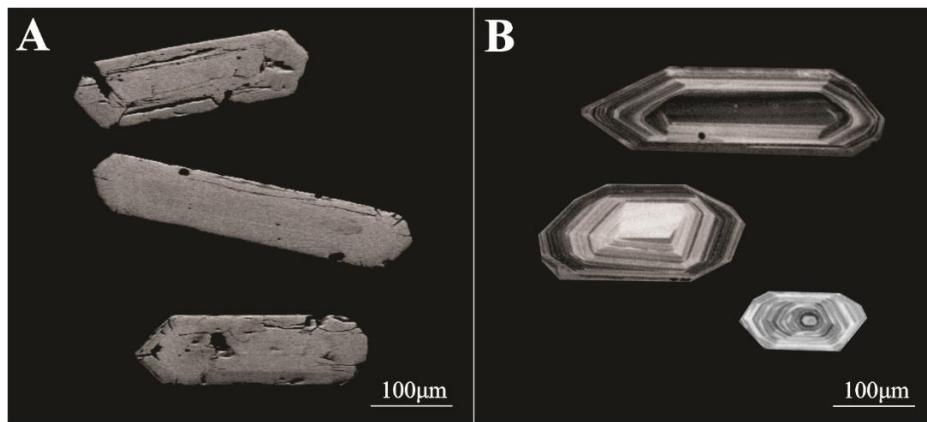


Fonte: Elaborado pelos autores.

A última etapa de preparação de amostra consiste no imageamento dos zircões para orientar o posicionamento das análises no mineral e contribuir na interpretação dos dados. Para isto, existem dois tipos de imagens que apresentam boa resolução de texturas internas dos zircões: elétrons retroespalhados (backscatter electron - BSE) e a de catodoluminescência (CL). O primeiro tipo de imagem é obtido por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV). A imagem de BSE normalmente evidencia zonações químicas do mineral e zonas livres de fraturas ou inclusões (Figura 4A). Já a imagem de CL é adquirida por meio de espectroscópio de catodoluminescência acoplado ao MEV. As imagens CL revelam as áreas de crescimento e recristalização do zircão, indicando também o melhor local *in situ* do mineral para a realização da análise (Figura 4B).

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

Figura 4. Dois tipos de imageamento dos zircões que orientam o posicionamento das análises no mineral: A Imagem de elétrons retroespelhados (BSE) destacando as fraturas nos zircões; B Imagem de catodoluminescência (CL) salientando as zonações dos grãos.

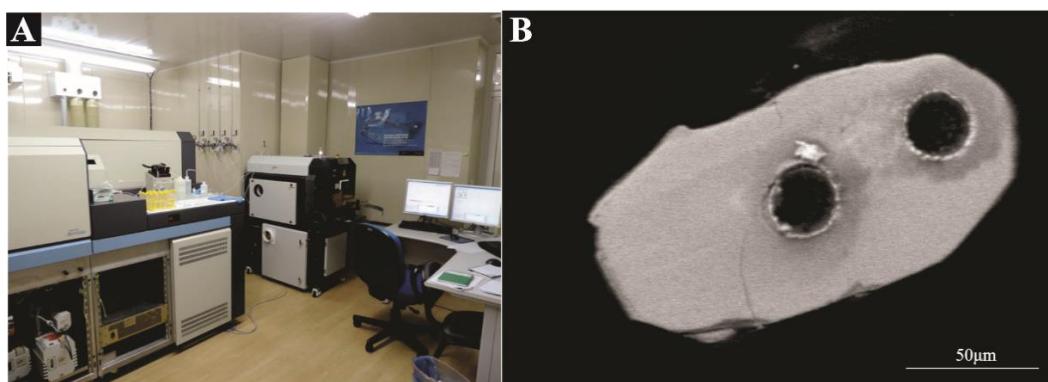


Fonte: Elaborado pelos autores.

5.3 Equipamentos

Diversos tipos de equipamentos de espectrometria de massa podem ser utilizados para datação por U-Pb. Nos estudos de zircões detriticos, os mais populares são os espectrômetros de massa com plasma acoplado indutivamente combinado ao sistema de ablação a laser (LA-ICP-MS) (Figura 5A), devido a maior agilidade na obtenção de dados *in situ*. Este é um método eficaz de registrar as assinaturas isotópicas no zircão (HARLEY; KELLY, 2007; KOOIJMAN et al., 2012). Em estudos de zircão detritico para análise de proveniência, nos quais se analisam diversos grãos de zircões, esta técnica representa a alternativa mais rápida e barata em relação a outras, ainda que apresente um pouco mais de incerteza quanto à precisão. A figura 5B ilustra o zircão após a realização da análise.

Figura 5.A. Equipamento LA-ICP-MS do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; B. Furos do laser no zircão onde foram realizadas as análises.



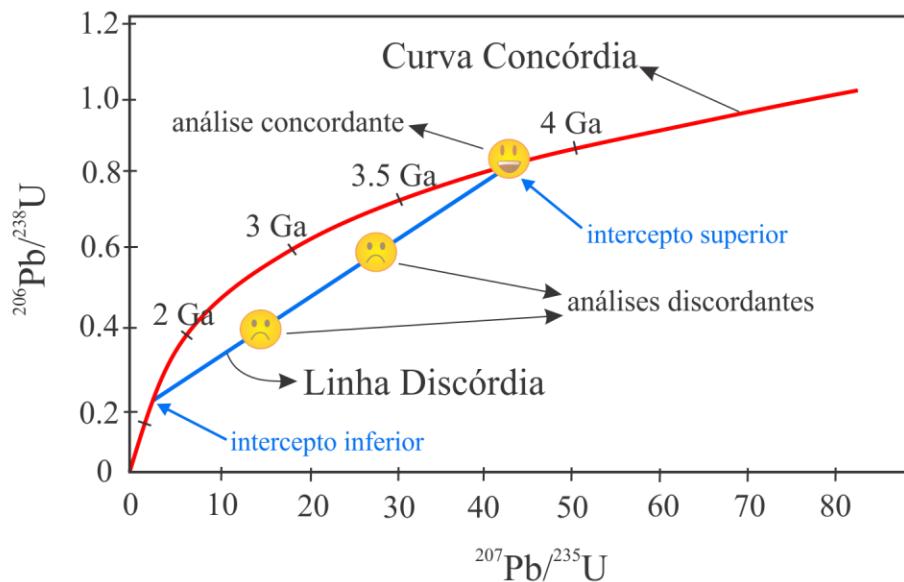
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para boa qualidade dos dados científicos resultantes das análises, é indispensável a calibração dos equipamentos e procedimentos operacionais validados cientificamente que orientem correções acerca de possíveis desvios dos equipamentos, polarização de massas ou fracionamento elementar (devido às diferenças de ionização). Neste último caso, é necessária a utilização de técnicas como a análise sistemática de um zircão padrão para a obtenção de um fator de correção. No entanto, estas técnicas variam conforme o procedimento estabelecido em cada laboratório.

5.4 Diagrama da Concórdia – Idade Absoluta

A base para a construção do diagrama concórdia são dois conjuntos de razões de isótopos pais e filhos (a razão $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e a razão $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$), que, neste caso, são analisados simultaneamente, em vez de ser realizada a análise de cada série de decaimento de ^{238}U e de ^{235}U separadamente (HARLEY; KELLY, 2007). A partir disto, o cruzamento destas duas razões dá origem a um local de compatibilidade no diagrama, isto é, um local em que as idades de ambas as razões são concordantes. Este local é representado pela curva concórdia. Quando as idades dos zircões se comportam de maneira concordante, o resultado da análise coincide com a curva concórdia e define a idade absoluta do ponto analisado. Quando o resultado da análise fica fora desta linha no diagrama, ela é chamada de discordante. Ambas situações são ilustradas na figura 6. Em alguns casos, o alinhamento de resultados de análises discordantes pode indicar, mesmo que de forma não tão acurada, o evento de cristalização e o evento que perturbou o sistema. Estes dados são obtidos, respectivamente, por meio do intercepto superior e inferior da curva discordia com a curva concórdia. Nos estudos de proveniência sedimentar, a idade do grão precisa atingir um percentual estabelecido de 5 a 10% máximo de discordância para ser utilizado na análise estatística dos dados.

Figura 6. Diagrama da curva concórdia e da linha discordia. Os resultados das análises que coincidem com a curva concórdia são chamados de concordantes e representam individualmente a idade de cada zircão analisado. O alinhamento de análises discordantes pode formar uma linha (em azul na figura) por meio do intercepto superior e inferior da curva discordia com a curva concórdia.



Fonte: Modificado de WETHERILL, 1956

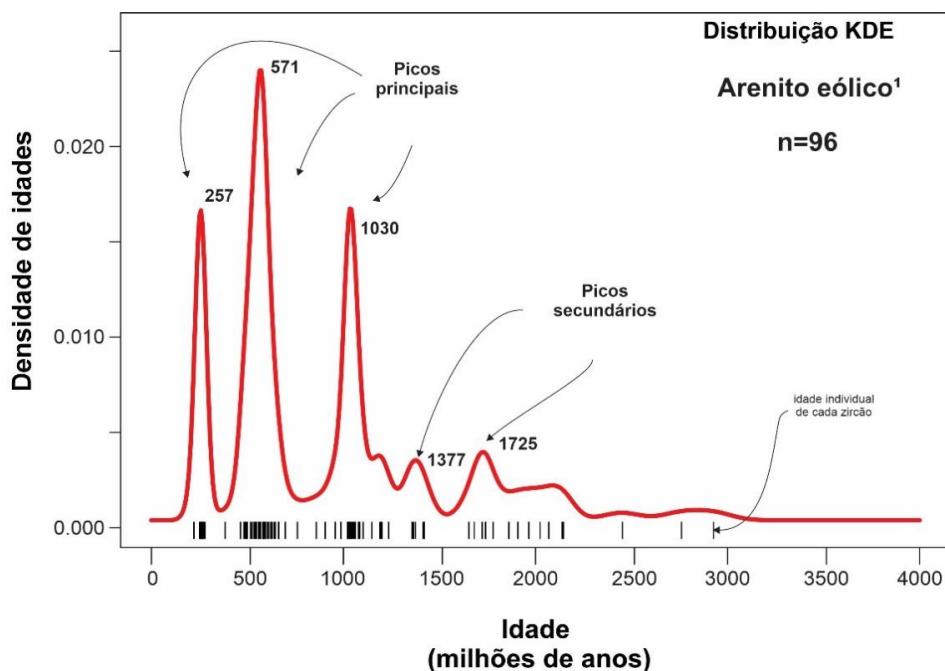
5.5 Análise estatística de dados geocronológicos para proveniência

O gráfico KDE (Figura 7) é o mais utilizado para visualização de datações em zircão detritico para provêniencia sedimentar (VERMEESCH, 2019; VERMEESCH, 2012). KDE é um acrônimo para *Kernel Density Estimator*, uma técnica estatística que limita o *oversmooth* (suavização excessiva) dos picos a fim de garantir idades de cunho geológico e não artefatos estatísticos. Este gráfico apresenta a linha do tempo no eixo X e a proporção de grãos no eixo Y. Em essência, este gráfico ilustra a proporção de grãos em determinados períodos de tempo que representam a idade que os zircões foram originalmente formados, seja por eventos ígneos ou metamórficos. A idade dos picos encontrados no KDE podem ser correlacionados com eventos tectônicos ou com unidades geológicas conhecidas para remontar a evolução geológica da unidade de interesse.

Para proveniência sedimentar, são datados entre 80 e 120 grãos, idealmente 117 de acordo com Vermeesch (2004). São selecionados grãos de zircão cuja discordância não

seja maior que 10%. A razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ é utilizada para zircões mais velhos que 1 Ga e a razão $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ para grãos mais jovens (GEHRELS, 2011; SPENCER; KIRKLAND; TAYLOR, 2016). O KDE da figura 7 apresenta 96 idades individuais de zircões detriticos, com picos mais importantes em torno de 257 Ma, 571 Ma e 1030 Ma. Os picos ao redor de 1377 e 1725 Ma representam contribuições secundárias. Os traços pretos abaixo da linha ilustram as idades para cada zircão, e sobreposição e densidade destes traços demonstram a maior concentração de idades nestas idades.

Figura 7. Diagrama KDE's para arenito eólico da Formação Botucatu da Bacia do Paraná demonstrando os picos principais: Permiano (257 Ma), Neoproterozoico (571 Ma) e Mesoproterozoico (1030) e picos secundários (1337 e 1725 Ma - Paleoproterozoicos).



Fonte: Modificado de BERTOLINI et al. (2021)

6 Aplicações em ambientes modernos e no registro geológico

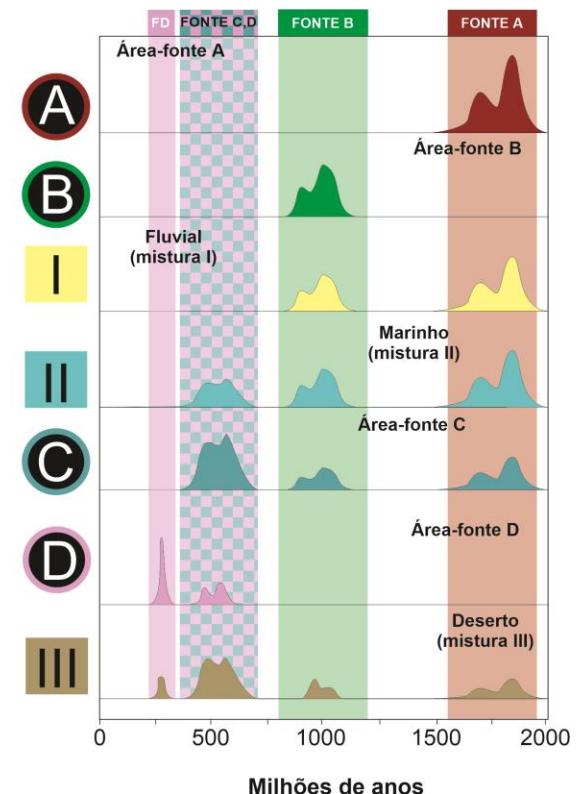
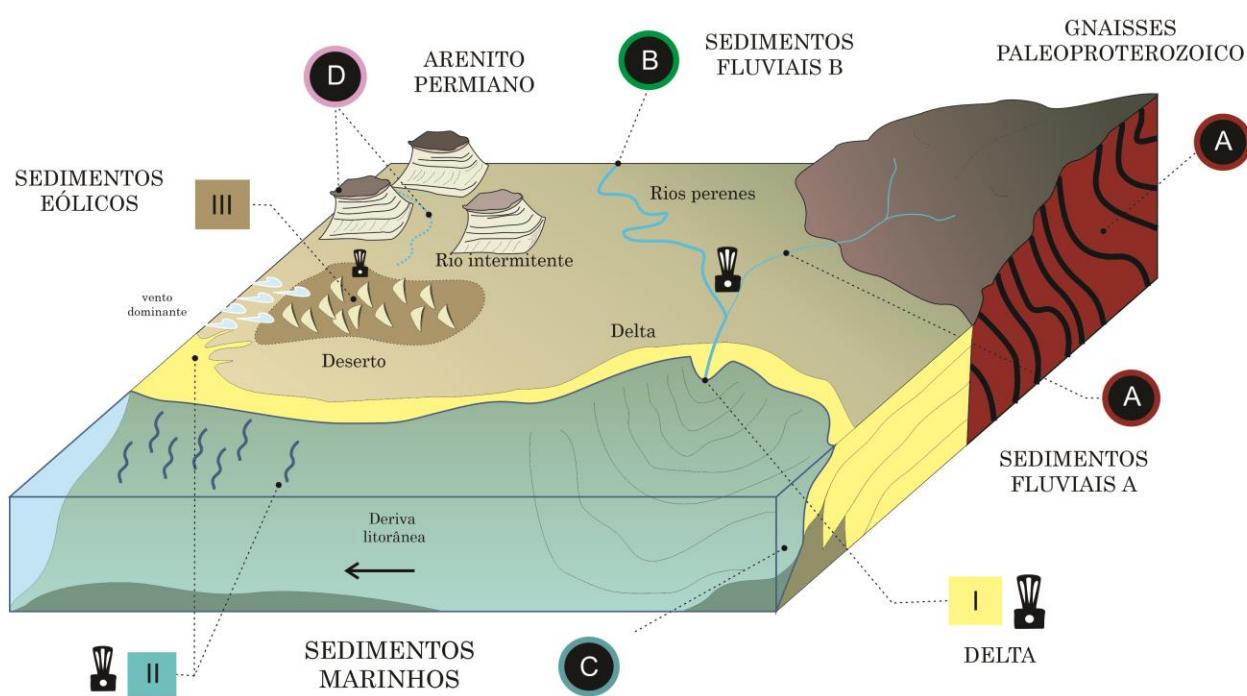
Estudos de proveniência podem ser realizados tanto em ambientes deposicionais atuais, quanto no registro geológico das rochas. Em ambientes modernos é possível utilizar zircão detritico para traçar as fontes de sedimento ao longo de trajetórias desde a área-fonte até a bacia de deposição, a fim de quantificar as modificações e misturas de grãos sedimentares impostas por cada ambiente deposicional. Em rochas, trabalhos de reconstrução paleoambientais e paleogeográficos buscam remontar os ambientes

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

sedimentares ao longo da história geológica da Terra. As assinaturas geocronológicas de zircão detritico são úteis para identificar com maior acertividade as rochas fontes que deram origem aos detritos carreados para os ambientes sedimentares.

A figura 8 exemplifica a utilização de dados de geocronologia U-Pb em zircão detritico em ambientes modernos. O modelo apresentado busca recriar a mistura de sedimentos em ambientes sedimentares utilizando as assinaturas dos gráficos KDE como traçador de áreas-fonte. Conforme este modelo, existem quatro áreas-fonte principais de sedimentos: (A) fluvial A provenientes de rochas de idade paleoproterozoica do embasamento; (B) fluvial B; (C) sedimentos marinhos transportados pela deriva litorânea; (D) rochas sedimentares de idade permiana. Cada fonte apresenta uma assinatura de zircão detritico particular, como demonstrado nos padrões dos gráficos tipo KDE. Os ambientes deposicionais presentes no modelo ilustram os processos de mistura que ocorrem quando duas ou mais fontes sedimentares interagem. Por exemplo, o deserto recebe sedimento do litoral através de transporte eólico (III) e de rios intermitentes (D). Esta mistura resulta em uma assinatura nova, desta vez contando com proporções diferentes entre as fontes sedimentares. O mesmo processo de mistura pode ocorrer de diversas formas, como na mistura de sedimentos marinhos e sedimentos deltaicos (II), ou então na mistura entre dois afluentes de rios que drenam diferentes áreas-fontes (I).

Figura 8. Modelo de ambientes sedimentares atuais com 4 áreas-fontes (A-D) e 3 misturas entre fontes (I-III). Os diagramas KDEs a direita registra as assinaturas de zircão detritico para as áreas-fontes e o resultado da mistura (representado pelos liquidificadores) entre essas fontes nos sistemas sedimentares fluviais (I), fluvial-marinho (II) e marinho-desértico.



Fonte: Elaborado pelos autores.

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

A interação entre a origem dos sedimentos (área-fonte) e deposição registra a história *source-to-sink* dos grãos sedimentares. Estas mesmas assinaturas são encontradas no registro sedimentar das rochas e, portanto, a assinatura de zircão detritico nas rochas é aplicada para reconstrução dos sistemas sedimentares antigos. Os picos encontrados nos KDE podem ser correlacionados com os terrenos tectônicos como orógenos, crâtons, cinturões metamórficos ou até mesmo bacias sedimentares. Portanto, a integração de mapas geológicos e geocronológicos é fundamental para a reconstrução dos sistemas sedimentares antigos. Por exemplo, no modelo da figura 8, o sistema fluvial A recebe sedimentos proximais das rochas metamórficas aflorantes com idades ao redor de 1.8 Ga, enquanto o sistema fluvial B recebe sedimentos de outro terreno geológico marcado por idades ao redor de 1.2 Ga.

7 Proveniência sedimentar na Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba é uma das maiores bacias intracratônicas do Paleozoico da América do Sul. Esta bacia é formada por sequências sedimentares dominanteamente paleozoicas de idades desde o Ordoviciano/Siluriano até o Cretáceo, com uma espessura de cerca de 3.500 m que registram sua história geológica (VAZ et al., 2007). Mudanças tanto climáticas quanto de ambientes de sedimentação ocorreram ao longo do tempo e suas unidades sedimentares da bacia registram múltiplos ciclos e ambientes, variando desde glacio-fluvial e marinho raso (grupos Serra Grande e Canindé), até plenamente continental (Grupo Balsas) (Figura 9). Trabalhos de proveniência já foram desenvolvidos, alguns dos quais dedicados a unidades e intervalos de tempo específicos, especialmente concentrados nos grupos Serra Grande e Canindé, em unidades do Devoniano ao Carbonífero (DE OLIVEIRA; MOURA, 2019; MENZIES et al., 2018) e Ordoviciano (CERRI et al., 2020). Já o trabalho de Hollanda et al. (2018), fez uma abordagem mais ampla, do Siluriano até o Triássico, excetuando a Formação Pedra de Fogo, do Grupo Balsas.

Figura 9. Estratigrafia resumida da Bacia do Parnaíba, no intervalo do final do Carbonífero ao Triássico.

Fonte: Traduzido de MEDEIROS et al. (2019)

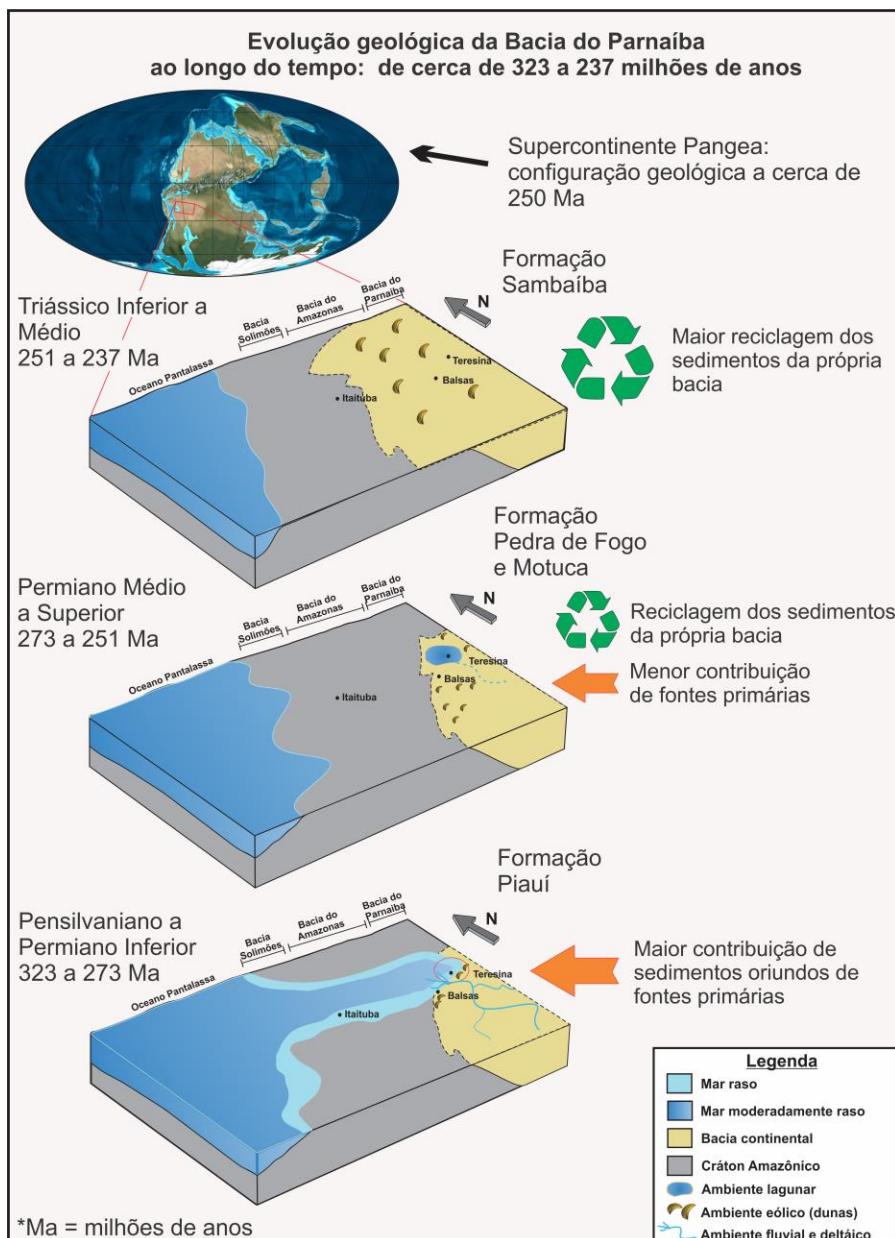
Menzies et al. (2018) trabalharam com amostras das porções sudoeste e nordeste da Bacia do Parnaíba, no intervalo dos grupos Serra Grande e Canindé. O trabalho utilizou técnicas de descrição e quantificação de minerais pesados, bem como datações U-Pb de zircão detritico. Dentre as principais conclusões, os autores destacam que a origem dos sedimentos se deu a partir de sudoeste, com uma rota longa de proveniência e uma subsidência muita lenta da bacia, o que permitiu dissolução de minerais, preservando apenas aqueles mais resistentes. Recentemente, o trabalho de Cerri et al. (2020), detalhou a proveniência do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba por meio de análise granulométrica e de minerais pesados, e considera que esta, já em seu estágio inicial, apresenta sedimentos com maturidade alta (maior transporte), corroborando a sugestão de áreas fontes distais. O trabalho de Oliveira e Moura (2019) focou em dados de U-Pb de zircões detriticos, e sugere que apenas parte das rochas fonte deve ser distal, mas parte pode ser proveniente de terrenos que ainda hoje circundam a bacia. O trabalho de Hollanda et al. (2018) demonstra a manutenção das distribuições de idade de zircões detriticos ao longo das diferentes unidades. Dois cenários foram considerados para explicar estes

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

resultados: *a*) pode ter havido manutenção da configuração dos terrenos mais elevados que serviram de fonte ao longo de milhões de anos; ou, *b*) pode ter ocorrido reciclagem de sedimentos da própria bacia. De qualquer forma, mais estudos são recomendados para elucidar estas questões. Outra contribuição deste trabalho foi a identificação de fragmentos de rochas e minerais de origem metamórfica, sugerindo denudação de terrenos formados em maior profundidade.

No projeto BIOCRONORTE, estudos de proveniência serão realizados em diferentes intervalos que contenham arenitos de diferentes ambientes deposicionais e de diferentes unidades estratigráficas. O projeto objetiva complementar trabalhos anteriores e será focado em processos sedimentológicos das unidades do final do Carbonífero (formações Poti e Piauí) e permiana (Formação Pedra de Fogo). A figura 10 ilustra a estratigrafia deste intervalo, que inclui a maior parte do Grupo Balsas. Dados da Formação Pedra de Fogo serão relevantes, considerando que nenhum trabalho anterior de proveniência em zircão detritico abordou esta unidade, que possivelmente marca a transição final de um contexto marinho para um contexto continental, dentro da história sedimentar da Bacia do Parnaíba. A figura 10 ilustra a evolução da bacia, no intervalo de 323 a 237 milhões de anos, pontuando as mudanças ambientais e paleogeográficas em toda sua extensão. Embora tais ambientes sedimentares estivessem restritos ou ao norte da bacia, como o mar epicontinental da Formação Piauí, durante o Pensilvaniano (Figura 10; MEDEIROS et al., 2019); ou à borda oeste, como os lagos permianos da Formação Motuca e os grandes desertos triássicos da Formação Sambaíba (Figura 10; ABRANTES et al., 2019); tais variações ambientais foram amplamente regidas por condições climáticas regionais, que juntamente com as variações geográficas, influenciaram toda história deposicional da Bacia do Parnaíba. A proveniência pode contribuir para o melhor entendimento deste contexto. Em áreas mais úmidas, que apresentam o predomínio de aporte fluvial, é esperada uma tendência de maior contribuição de sedimentos oriundos de fontes primárias. Conforme estas áreas se tornam mais desérticas, a tendência é de maior predomínio de reciclagem dos sedimentos da própria bacia.

Figura 10. Evolução paleogeográfica sugerida para o intervalo do final do Carbonífero ao Triássico, que compreende a transição final do sistema marinho e epicontinental para continental com depósitos fluviais e costeiros da Fm. Piauí, depósitos transicionais marinho-continental árido na Fm. Pedra de Fogo, depósitos lacustres e salinos da Fm. Motuca e depósitos eólicos desérticos da Fm. Sambaíba.



Fonte: Adaptado de MEDEIROS et al. (2019)

8 Considerações finais

Este artigo revisa a aplicação de técnicas de datação U-Pb em zircão detritíco para fins de proveniência sedimentar. São abordados o mineral zircão e suas propriedades geocronológicas, técnicas de preparação e imageamento, equipamentos, técnicas de visualização e cálculo de dados geocronológicos, aplicações de assinaturas de zircão detritíco na reconstrução de ambientes modernos e em rocha com exemplos aplicados à Bacia do Parnaíba. Os conceitos apresentados nesta revisão constituem uma introdução ao tema de proveniência sedimentar e geocronologia, que apresentam bibliografias extensas e complexidade alta. No contexto do Projeto Biocronorte, as análises irão contribuir para

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

reconstruções paleogeográficas e correlações com áreas vizinhas. Estudos geológicos de proveniência representam esforços científicos para o melhor conhecimento da dinâmica dos processos superficiais e evolução das bacias sedimentares e suas relações com variações no clima e eventos tectônicos que afetam o planeta ao longo de milhões de anos.

Referências bibliográficas

- ABRANTES, Francisco R. *et al.* **Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangaea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin, Northern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, v. 93, n. October 2018, p. 294–312, 2019: 10.1016/j.jsames.2019.05.006.
- ALLEN, Philip A. **Sediment routing systems: The fate of sediment from source to sink.** Cambridge University Press, 2017.
- BASU, Abhijit. **Evolution of siliciclastic provenance inquiries: a critical appraisal.** Em: Mazumder, R. (Ed) 2017. *Sediment Provenance*: Elsevier, 2017. p. 5-23: 10.1016/B978-0-12-803386-9.00002-2.
- BERTOLINI, Gabriel *et al.* **Determining sediment provenance history in a Gondwanan erg: Botucatu formation, Northern Paraná Basin, Brazil.** *Sedimentary Geology*, v. 417, p. 105883, 2021: 10.1016/j.sedgeo.2021.105883.
- CAWOOD, Peter A.; HAWKESWORTH, Chris J.; DHUIME, Bruno. **Detrital zircon record and tectonic setting.** *Geology*, v. 40, n.10: p. 875-878, 2012: 10.1130/G32945.1.
- CERRI, Rodrigo I. *et al.* **Unraveling the origin of the Parnaíba Basin: testing the rift to sag hypothesis using a multi-proxy provenance analysis.** Journal of South American Earth Sciences, v. 101, p. 102625, 2020: 10.1016/j.jsames.2020.102625.
- CORFU, Fernando. **Atlas of Zircon Textures.** *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 53, n. 1, p. 469–500, 2003: 10.2113/0530469.
- DE OLIVEIRA, Camila V.; MOURA, Cândido A. V. **Provenance of detrital zircons of the canindé group (Parnaíba Basin), northeastern Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, v. 90, p. 162-180, 2019: 10.1016/j.jsames.2018.12.009.
- DICKINSON, William R.; GEHRELS, George E. **Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: a test against a Colorado Plateau Mesozoic database.** *Earth and Planetary Science Letters*, v. 288, n.1-2, p. 115-125, 2009: 10.1016/j.epsl.2009.09.013.
- FINCH, Robert J.; HANCHAR, John M. **Structure and chemistry of zircon and zircon-group minerals.** *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 53, n.1, p. 1-25, 2003: 10.2113/0530001.

GARZANTI, Eduardo. **From static to dynamic provenance analysis—Sedimentary petrology upgraded.** *Sedimentary Geology*, v. 336, p. 3-13, 2016: 10.1016/j.sedgeo.2015.07.010.

GEHRELS, George E. **Detrital zircon U-Pb geochronology: Current methods and new opportunities.** *Tectonics of sedimentary basins: Recent advances*, p. 45–62, 2011: 10.1002/9781444347166.ch2.

GERDES, Axel; ZEH, Armin. **Combined U–Pb and Hf isotope LA-(MC-) ICP-MS analyses of detrital zircons:** comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of an Armorican metasediment in Central Germany. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 249, n.1-2, p. 47-61, 2006: 10.1016/j.epsl.2006.06.039.

GEHRELS, George E. *et al.* **Detrital zircon geochronology of pre-Tertiary strata in the Tibetan-Himalayan orogen.** *Tectonics*, v. 30, n. 5, 2011: 10.1029/2011TC002868.

HARLEY, Simon L.; KELLY, Nigel M. **Zircon tiny but timely.** *Elements*, v. 3, n. 1, p. 13-18, 2007: 10.2113/gselements.3.1.13.

HOLLANDA, Maria H. B. M.; GÓES, Ana M.; NEGRI, Flávia A. **Provenance of sandstones in the Parnaíba Basin through detrital zircon geochronology.** *Geological Society, London, Special Publications*, v. 472, n.1, p. 181-197, 2018: 10.1144/SP472.16.

KOOIJMAN, Ellen; BERNDT, Jasper; MEZGER, Klaus. **U-Pb dating of zircon by laser ablation ICP-MS: recent improvements and new insights.** *European Journal of Mineralogy*, v. 24, n. 1, p. 5-21, 2012: 10.1127/0935-1221/2012/0024-2170.

MAZUNDER, Rajat. **Sediment provenance: Influence on compositional change from source to sink.** Em: *Sediment Provenance*. Elsevier, 2017. p. 1-4: 10.1016/B978-0-12-803386-9.00001-0.

MEDEIROS, Renato S. P. *et al.* **Carbonate-clastic sedimentation in the Parnaíba Basin, northern Brazil: Record of carboniferous epeiric sea in the Western Gondwana.** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 91, p. 188–202, 2019: 10.1016/j.jsames.2019.01.018.

MENZIES, Lori A.; CARTER, Andrew; MACDONALD, David I. M. **Evolution of a cratonic basin: Insights from the stratal architecture and provenance history of the Parnaíba Basin.** *Geological Society Special Publication*, v. 472, n. 1, p. 157–179, 2018: 10.1144/SP472.18.

REINERS, Peter W. *et al.* **Geochronology and thermochronology.** John Wiley & Sons, 2017.

RUBATTO, Daniela. **Zircon: The Metamorphic Mineral.** *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 83, n. 1, p. 261–295, 2017: 10.2138/rmg.2017.83.9, 2017.

SPENCER, Christopher J.; KIRKLAND, Christopher L.; TAYLOR, Richard J. M. **Strategies to-wards statistically robust interpretations of in situ U–Pb zircon geochronology,** *Geoscience Frontiers.*, v. 7, p. 581–589, 2016: 10.1016/j.gsf.2015.11.006.

ZIRCÃO, O GUARDIÃO DO TEMPO: DATAÇÃO U-PB APLICADA À PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR - REVISÃO METODOLÓGICA E UTILIDADE NO PROJETO BIOCRONORTE

VAZ, Pekim T. *et al.* **Bacia do Parnaíba.** Boletim de Geociências da PETROBRAS, v. 15, n. 2, p. 253–263, 2007.

VERMEESCH, Pieter. **How many grains are needed for a provenance study?** Earth and Planetary Science Letters, v. 224, n. 3-4, p. 441-451, 2004:10.1016/j.epsl.2004.05.037.

VERMEESCH, Pieter. **On the visualisation of detrital age distributions.** Chemical Geology, v. 312, p. 190–194, 2012: 10.1016/j.chemgeo.2012.04.021.

VERMEESCH, Pieter. **Exploratory Analysis of Provenance Data Using R and the Provenance Package.** Minerals, v. 9, n. 3, p. 193, 2019: 10.3390/min9030193.

VERMEESCH, Pieter. **On the treatment of discordant detrital zircon U–Pb data.** Geochronology, v. 3, p. 247–257, 2021: 10.5194/gchron-3-247-2021.

WELTJE, Gert J.; EYNATTEN, Hilmar von. **Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook.** Sedimentary Geology, v. 171, n. 1-4, p. 1-11, 2004: 10.1016/j.sedgeo.2004.05.007.

WETHERILL, George W. **Discordant uranium-lead ages, I.** Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 37, n. 3, p. 320-326, 1956: 10.1029/TR037i003p00320.

Agradecimentos: Os autores agradecem às instituições convenentes do projeto BIOCRONORTE: PETROBRAS (Processo Sigitec 2018/00541-5), FAURGS (8391-3), UFPA, UFPE, UFRGS (Interação Acadêmica 000803), USP, ANP (21561-6); NLP é bolsista do PRH-ANP, GB da CAPES (88887.310123/2018-00) e JCM (309519/2018-7), ACRN (307484/2018-0) e PAS (313340/2018-8) são bolsistas PQ CNPq.

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.157 – 176 , Janeiro/Junho, 2022. **ISSN: 2675-9748.**



EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGAE O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

Biocronorte expedition to the Parnaíba Basin: Deciphering the ancient life and the historical record of planet Earth

Paulo A. Souza^{1*}, Ana Karina Scomazzon², Afonso César Rodrigues Nogueira³, Ana Maria Goes⁴, Argel de Assis Nunes Sodré⁵, Cristina Moreira Félix⁶, Daiana R. Boardman⁷, Edvaldo José Oliveira⁸, Gelson Luís Fambrini⁹, Juliana Charão Marques¹⁰, Luiz Saturnino de Andrade¹¹, Márcia Emilia Longhim¹², Renato Sol Paiva de Medeiros¹³ & Sara Nascimento¹⁴

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul; paulo.alves.souza@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-9844-1530

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-2664

³Universidade Federal do Pará; anogueira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5225-9255

⁴Universidade de São Paulo; amgoes@usp.br; ORCID: 0000-0001-8575-1935

⁵Universidade Federal do Pará; argel.sodre@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5190-9623

⁶Universidade Federal do Rio Grande do Sul; cmfelix@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6865-7437

⁷Universidade Federal do Rio Grande do Sul; daiana.boardman@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3140-9979

⁸Universidade Federal do Rio Grande do Sul; contato.edvaldo@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3730-8511

⁹Universidade Federal de Pernambuco; gelson.fambrini@ufpe.br; ORCID: 0000-0001-9663-2229 ¹⁰Universidade

Federal do Rio Grande do Sul; juliana.marques@ufrgs.br; ORCID: 0000-0003-0143-6925

¹¹Universidade Federal do Pará; geoandrade.sl@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7168-8787 ¹²PETROBRAS;

melonghim@petrobras.com.br; ORCID: 0000-0003-2992-5667

¹³Universidade Federal do Pará; renato.solgeo@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1202-0143

¹⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul; sara.nascimento@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2396-

RESUMO: A Bacia do Parnaíba documenta sucessões de rochas sedimentares e ocorrências de fósseis que permitem reconstituir os ecossistemas do passado, ampliando o conhecimento sobre sua evolução geológica e potencialidade em termos de exploração de recursos minerais. Neste artigo são apresentadas as principais motivações, etapas e resultados da Expedição BIOCRONORTE à Bacia do Parnaíba, realizada em outubro de 2021, a qual é vinculada a um projeto interinstitucional envolvendo o setor produtivo e universidades públicas do país e do exterior. Afloramentos de determinadas unidades litoestratigráficas da bacia, de idades diversas (entre aproximadamente 346 e 145 milhões de anos atrás), foram visitados nos arredores de José de Freitas e Floriano (Piauí), e Balsas e Riachão (Maranhão). Os métodos empregados incluem análises sobre sedimentologia e estratigrafia, construção de perfis estratigráficos, amostragem para análise de microfósseis (palinomorfos, conodontes e foraminíferos), da proveniência sedimentar e para datação absoluta por Re-Os. Dados preliminares sugerem mudanças nas concepções das idades de algumas unidades estratigráficas, bem como sobre o modelo de evolução geológica da região. Além de apoiar trabalhos acadêmicos, os relatórios e as publicações advindas ampliam o banco de dados geocientífico da bacia, com aplicação no setor produtivo para fins de exploração de recursos minerais e energéticos.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba. Estratigrafia. Geocronologia. Micropaleontologia.

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

ABSTRACT: The Parnaíba Basin documents successions of sedimentary rocks and fossil occurrences that allow us to reconstitute past ecosystems, expanding the knowledge about its geological evolution and potential in terms of exploration of mineral resources. This paper presents the main motivations, stages and results of the BIOCRONORTE Expedition, carried out in October 2021, which is linked to an inter-institutional project involving the productive sector and public universities in the country and abroad. Outcrops of certain lithostratigraphic units in the basin, of different ages (between approximately 346 and 145 million years ago), were visited in the vicinity of José de Freitas and Floriano, in Piauí, and Balsas and Riachão, in Maranhão. The methods used include analyzes of sedimentology and stratigraphy, construction of stratigraphic profiles, sampling for analysis of microfossils (palynomorphs, conodonts and foraminifera), of sedimentary provenance and absolute dating by Re-Os. Preliminary data suggest changes in the age conceptions of some stratigraphic units, as well as in the geological evolution model of the region. In addition to supporting academic work, the resulting reports and publications expand the basin's geoscientific database, with application in the productive sector for the purpose of exploring mineral and energy resources.

Keywords: Geochronology. Micropaleontology. Parnaíba Basin. Stratigraphy.

1 Introdução

A Bacia Sedimentar do Parnaíba é uma bacia intracratônica composta por rochas sedimentares e magmáticas que recobrem em superfície os estados do Piauí e do Maranhão, incluindo ainda porções da Bahia, Ceará, Tocantins e Pará, perfazendo um total de 665.000 km², dos quais 75% da área encontra-se no Estado do Piauí. O relevo de serras e planícies abriga diferentes ecossistemas configurando uma paisagem exuberante para a prática de geoturismo, importante para a agropecuária e com alvos na fronteira da exploração mineral, principalmente exploração de gás e água subterrânea. A exploração de petróleo e gás por companhias como a PETROBRÁS em subsuperfície é uma forte motivação para o investimento econômico do Estado do Piauí.

As rochas da Bacia do Parnaíba foram formadas ao longo dos períodos das eras Paleozoica e Mesozoica, aproximadamente entre 500 e 66 milhões de anos atrás, quando os continentes apresentavam configurações paleogeográficas distintas das atuais. Naqueles tempos, o continente sulamericano fazia parte do Supercontinente Gondwana (Figura 1). Desde a sua formação, a Bacia do Parnaíba passou por distintos contextos paleoclimáticos e paleogeográficos, registrados em depósitos sedimentares atribuídos aos ambientes fluviais, desérticos, lacustres, glaciais e marinhos. Estes depósitos foram truncados por

extensos pulsos magmáticos responsáveis pela extrusão de basalto, cujos fluídos foram responsáveis pela geração das opalas de Pedro II, norte do Estado do Piauí, considerada de alto padrão gemológico. O basalto também é amplamente utilizado como brita para as excelentes estradas que contribuem para a mobilidade da população e transportes dos bens minerais e agronegócio. Para usufruir destes bens minerais e construir toda essa infraestrutura necessária para o desenvolvimento do Piauí e dos demais estados envolvidos, é necessário antes fazer uma leitura dos mais variados processos geológicos. Isto é feito reunindo informações geocientíficas a partir de estudos minuciosos das camadas sedimentares e do seu conteúdo fossilífero, referente aos antigos organismos coletados por expedições geológicas na Bacia do Parnaíba.

Figura 1 – Mapa paleogeográfico aproximado para o hemisfério sul do planeta durante os períodos Carbonífero e Permiano, com destaque aos atuais continentes que fizeram parte do Supercontinente Gondwana e localização da Bacia do Parnaíba (modificado a partir de Blakey, 2008).



Expedições à Bacia do Parnaíba tem iniciado principalmente com cunho geológico e

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

paleontológico desde o final do século XIX, renovando o conhecimento da região principalmente em cooperação entre universidades e o setor privado. O exemplo mais recente desta conjunção é o projeto “BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões” que constituiu termo de cooperação entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRÁS), a Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS), e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com execução entre 2019 e 2023. Seu objetivo principal é ampliar o conhecimento paleontológico e geológico das referidas bacias, a fim de obter a idade das camadas, por meio de fósseis e datações radiométricas, reconstituindo os cenários paleoambientais no tempo e no espaço. A equipe executora é composta por pesquisadores da UFRGS e colaboradores da Universidade Federal do Pará (UFPA), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Universidade de São Paulo (USP), incluindo discentes de graduação e de pós-graduação. A Bacia do Parnaíba foi selecionada como alvo da primeira expedição de campo do projeto, realizada em outubro de 2021 por uma equipe de 11 pesquisadores. Neste artigo pretende-se apresentar: (i) as etapas de desenvolvimento da expedição; (ii) a descrição sucinta e a importância dos métodos empregados; e, (iii) os resultados obtidos e seu papel no cumprimento dos objetivos do projeto e na ampliação do conhecimento paleontológico e geológico da bacia. Para isso, diversas rodovias e estradas vicinais dos estados do Piauí e do Maranhão foram percorridas investigando afloramentos de rocha e fósseis, na busca de decifrar a vida antiga e o registro histórico do planeta Terra.

2 Materiais e métodos

O planejamento da expedição se deu entre os meses de julho e setembro de 2021, com análises criteriosas considerando: (i) as condições climáticas da área (temperatura, período de seca); (ii) a situação sanitária relacionada à pandemia COVID-19; (iii) a infraestrutura local e a logística de transporte e acomodação da equipe; e, (iv) a seleção de pontos para visitação contendo afloramentos, para descrição e amostragem com base no conhecimento prévio da equipe e nos objetivos gerais do projeto.

Os afloramentos selecionados para visitação na expedição estão localizados nos

arredores de José de Freitas e Floriano, no Piauí, e Balsas e Riachão, no Maranhão, nas proximidades e ao longo das principais rodovias e estradas vicinais (Figura 2). Em termos estratigráficos, o intervalo selecionado para estudo corresponde às formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (Grupo Balsas), com idades posicionadas desde o Pennsilvaniano ao Triássico (VAZ et al., 2007), sendo que a última formação supracitada não foi alcançada. Além disso, unidades sedimentares subjacentes (p. ex., formações Longá e Poti) e suprajacentes (p. ex., Formação Pastos Bons) foram também incluídas para melhorentendimento dos limites geológicos e do contexto da evolução paleogeográfica. Aequipe foi dividida em três grupos, responsáveis pela visitação dos pontos ao redor das localidades mencionadas. Em cada um dos pontos selecionados para visitação, foram empregadas diversas metodologias, em razão dos objetivos do projeto, conforme descrição nos subitens que seguem. Maiores informações a respeito destes métodos são apresentadas particularmente em artigos específicos neste volume.

2. 1 *Levantamento estratigráfico*

O levantamento estratigráfico envolveu 300 m de rochas aflorantes desde a porção centro-leste e sudoeste da Bacia do Parnaíba até a região de José Freitas, a NW de Teresina, perfazendo cerca de 500 km de extensão. Os principais afloramentos são cortes de estradas, margens e leitos de drenagens intermitentes, encostas de morros e frentes de lavra de minas de calcário. Foi usado o método demodelamento de fácies proposto por WALKER (1992), que consiste em: 1) individualização e descrição de fácies sedimentares, identificando a mineralogia, textura e conteúdo paleontológico, bem como estruturas, geometria dos corpos e medidas de paleocorrente; 2) definição de fácies, que permite interpretar os processos deposicionais; 3) proposição de associações de fácies, que agrupa fácies contemporâneas e cogenéticas indicadoras dos ambientes sedimentares e sistemas deposicionais. Adicionalmente, ciclos deposicionais e superfícies estratigráficas foram definidas durante a confecção de perfis colunares e seções panorâmicas que serviram para posicionar amostras para análises micropaleontológica, de proveniência sedimentar e datação Re-Os.

2. 2 *Coleta de amostras para estudo micropaleontológico*

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

Achados de organismos fossilizados em rochas sedimentares são comumente veiculados na mídia, principalmente quando se trata de temas tradicionalmente instigantes, tais como os dinossauros, os ancestrais do homem e as causas das grandes extinções em massa. Cada registro paleontológico revela informações que são utilizadas por diversas áreas da ciência, trazendo novos dados sobre a evolução dos organismos através do tempo, sobre suas relações ecológicas, sobre os cenários paleoambientais, paleogeográficos e paleoclimáticos, e como forma de datar, de forma relativa, as rochas onde ocorrem.

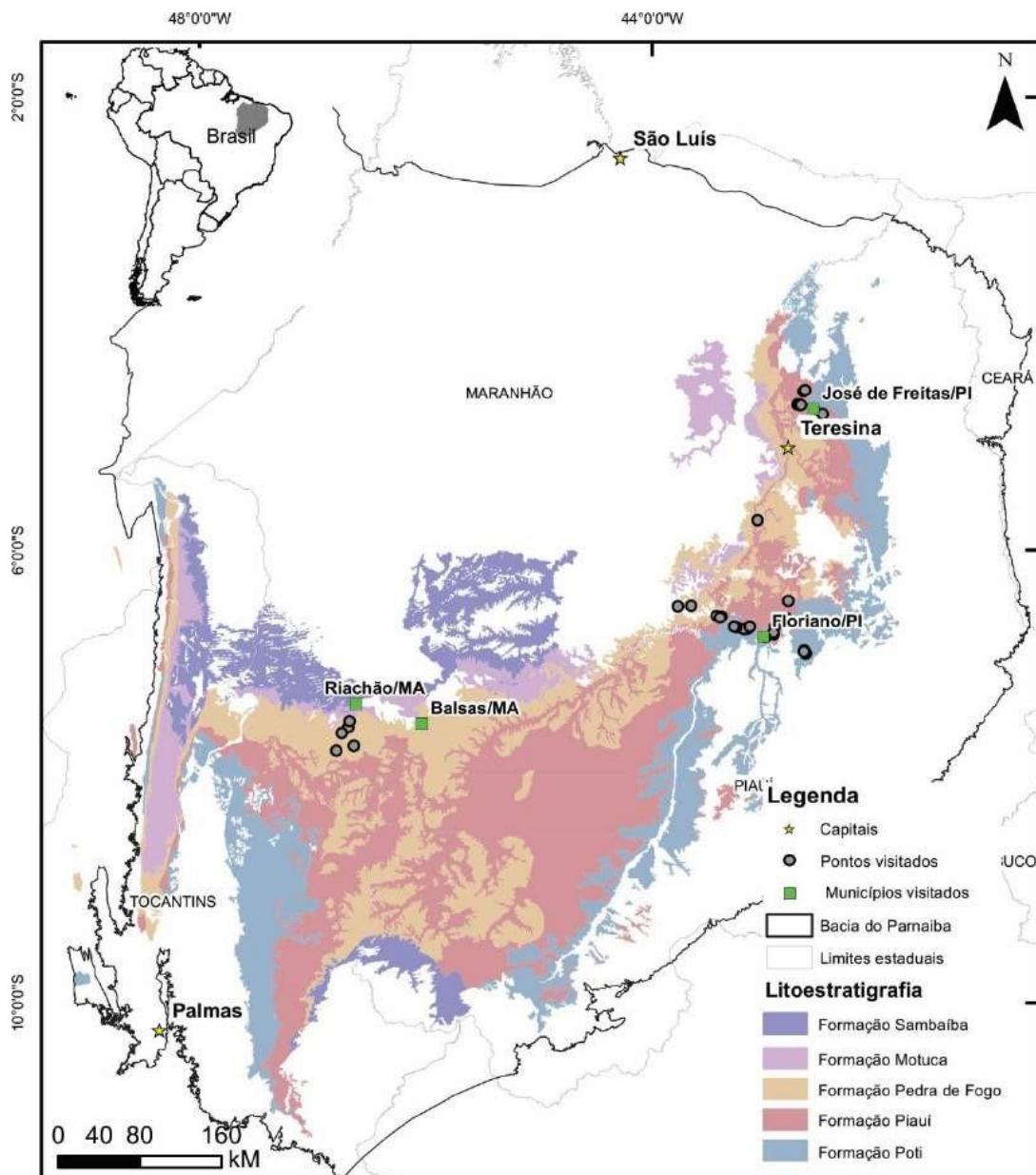
Além das publicações de cunho didático (p. ex., CARVALHO, 2011) e das mais especializadas (p. ex., revistas científicas), o acesso mais comum ao acervo paleontológico do planeta é por meio de visitação a museus e da cobertura midiática. Em todos os casos, os estudos são iniciados por expedições exaustivas realizadas por pesquisadores com formação apropriada para o sucesso de novos achados.

Na Bacia do Parnaíba, diversos tipos de fósseis já foram registrados, incluindo plantas, invertebrados e vertebrados, os quais são encontrados de forma visível nas rochas sedimentares (macrofósseis). Nesse contexto, um dos mais importantes registros desta bacia é a “Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional”, que constitui o mais exuberante e importante registro macroflorístico tropical-subtropical do período Permiano no Hemisfério Sul (DIAS-BRITO et al., 2009). Ocorrências similares desta floresta petrificada estão também expostas no centro urbano de Teresina, ainda em área-parque com perspectiva de ampliação e de aproveitamento para fins museológicos e de divulgação científica, com efeito no turismo local e regional.

Por outro lado, muitos organismos fósseis são extremamente pequenos, denominados “microfósseis”, com dimensões geralmente menores que 1 mm, que podem estar contidos nas rochas sedimentares, mas não são visíveis a olho nu. Assim, as diversas amostras coletadas são enviadas para os laboratórios das instituições, com protocolos específicos para extração dos microfósseis e posterior análise em equipamentos especializados, tais como microscópios ópticos e lupas estereoscópicas (ARMSTRONG & BRASIER, 2005). Como são organismos diminutos, podem estar presentes em grandes quantidades em poucos gramas de uma amostra, resultando em

conjuntos numerosos e geralmente diversificados para cada ponto de coleta.

Figura 2 – Distribuição da Bacia do Parnaíba, com detalhamento das unidades litoestratigráficas carboníferas a triássicas aflorantes e dos pontos visitados (afloramentos) ao redor das cidades de José de Freitas e Floriano, no Piauí, e Balsas e Riachão, no Maranhão.



Durante a coleta, existem feições que indicam uma maior probabilidade de sucesso no achado de microfósseis. No caso dos esporos e grãos de pólen

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO Parnaíba: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

(palinomorfos relacionados à reprodução das plantas), utiliza-se como critério inicial o tipo de rocha e sua coloração. De maneira geral, pelitos com coloração cinza média a mais escura são rochas mais promissoras para esses tipos de organismos fósseis. Rochas carbonáticas são mais promissoras em termos de ocorrência de organismos com testas de composição carbonática, tais como os foraminíferos (protistas marinhos bentônicos, com carapaças, em geral, carbonáticas).

Em cada ponto desta Expedição, foram coletadas amostras a fim de se registrar novos achados de microfósseis, especialmente de: (i) esporos e grãos depólen; (ii) vesículas algálicas; (iii) elementos conodontes (vertebrados primitivos estudados na micropaleontologia, pois a parte que preserva são seus aparelhos alimentares fosfáticos, de tamanho milimétrico); e, (iv) foraminíferos. Estes grupos fornecem informações relevantes sobre as idades e os paleoambientes das camadas onde são encontrados, incluindo espécies utilizadas como guias da escala padrão do tempo geológico (p. ex., elementos conodontes), de alta resolução para datações relativas. Maiores informações sobre cada um destes microfósseis são apresentadas separadamente neste volume.

2. 3 Coleta de amostras para proveniência sedimentar

As rochas sedimentares detriticas são formadas a partir do acúmulo de sedimentos e suas características refletem os ambientes deposicionais. Estes sedimentos são constituídos por fragmentos de rochas provenientes de áreas fontes e o seu aporte é controlado pelo clima e ligado a processos tectônicos. Características tais como composição, granulometria e forma dos grãos detriticos são importantes para entender a origem do material e as modificações decorrentes do transporte. Compreender e quantificar os processos do ciclo de erosão, transporte e deposição fazem parte desta grande área de estudo chamada proveniência sedimentar (MAZUNDER, 2017). A forma de trabalhar comproveniência é bastante ampla e depende do foco da pesquisa. Estudos granulométricos e de minerais pesados são bastante populares (MAZUNDER, 2017). Dependendo do tipo de material identificado, é possível revelar, por exemplo, o tipo e grau de exposição da fonte. Outra ferramenta muito usada tem sido idades U-Pb obtidas em zircão detritico (e.g. GEHRELS, 2014). O zircão é um mineral comum em diversas rochas e apresenta significativa resistência

química efísica aos processos superficiais, sendo pouco afetados no transporte. É o principal mineral analisado para o sistema U-Pb, um dos mais robustos métodos de datação geocronológica. As idades de zircões detriticos revelam as idades das rochas fontes, o que auxilia no entendimento dos eventos e nas reconstruções paleogeográficas. Ainda, é possível obter a idade máxima de deposição, dado muito importante nos estudos que visam refinar a cronologia. No projeto BIOCRONORTE, as amostragens para estudos de proveniência contemplaram intervalos de rochas areníticas de ambientes e posições estratigráficas distintas, com intuito de compreender tanto os processos sedimentológicos mais específicos quanto a evolução da Bacia do Parnaíba no tempo.

2.4 Coleta de amostras para o método de datação Re-Os

Sucessões sedimentares detriticas são muito difíceis de serem datadas de forma absoluta e o método Re-Os tem representado um avanço excepcional nesta área. Os elementos Rêmio (Re) e Ósmio (Os) são derivados da água do mar e se concentram em sedimentos anóxicos (baixo conteúdo de oxigênio) na interface água-sedimento. Estes elementos se ligam à matéria orgânica e, após a deposição desta, o sistema Re-Os se comporta de forma fechada no qual o isótopo ^{187}Re radioativo decai para o ^{187}Os radiogênico. A componente detritica de Re e Os deve ser insignificante. Estas premissas formam a base do geocronômetro que determina a idade de deposição. Várias alíquotas são analisadas para possibilitar a construção de um diagrama isocrônico e obtenção da idade. Para que a datação seja exitosa, são requeridas condições muito específicas. As amostras devem ser selecionadas e coletadas de forma criteriosa de um intervalo rico em matéria orgânica, formado em lâmina de água anóxica com pouca perturbação e contribuição detritica. A rocha deve estar sem alteração intempérica. Amostrar-se um intervalo horizontal único com coleta de várias alíquotas, espaçadas em dezenas de centímetros, ou se coleta um intervalo vertical restrito. Após, as alíquotas são cominuídas ($< 30\mu\text{m}$) sem contaminação com metais, são pesadas e traçadores isotópicos são adicionados. O Re e Os ocorrem em muito baixa quantidade, na ordem de parte por bilhão (ppb) e o Os, quando oxidado, é

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO Parnaíba: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

volátil, o que torna o preparo químico e o método analítico desafiador. A dissolução da amostra ocorre em um recipiente vítreo selado e aquecido, técnica denominada de *Carius Tube Digestion*. Após, as amostras passam por diversos procedimentos químicos para separação e isolamento do Re e Os. Depois da separação, os elementos são analisados por espectrômetria de massa. A metodologia Re-Os é considerada desafiadora e trabalhosa. A base conceitual foi desenvolvida por vários autores, e desde os trabalhos de CREASER et al. (2002), o método para folhelhos tornou mais popular. Outra aplicação do método trata-se da obtenção de informações sobre a composição da água do mar quando da época de deposição. A razão inicial de Os é sensível às variações no oceano e pode ser usada como ferramenta de estimativa da antiga fonte de Os nos oceanos. Isto permite considerações quanto às variações de contribuição de material continental ou mesmo de impactos meteoríticos à água do mar. O potencial de utilização da razão inicial de Os é similar ao que já habitualmente se realiza através das razões iniciais de Sr. Revisões complementares sobre método e aplicações podem ser obtidas em REISBERG & MEISEL (2002) e MARQUES (2013). Para o Projeto

BIOCRONORTE, foram amostrados alguns intervalos ricos em matéria orgânica, utilizando a técnica de amostragem horizontal com coleta de várias (6 a 8) alíquotas.

2.5 Integração dos dados

Ao final de cada dia de estudo, cada uma das três equipes realizou reuniões para organizar as informações levantadas, aprofundar as discussões sobre as feições observadas, aprimorar os perfis estratigráficos elaborados e reprogramar, quando necessário, o roteiro da expedição. Ao final, todas as equipes discutiram as informações de maneira conjunta, com a montagem de planilhas sobre as amostras coletadas, realização de seções estratigráficas integradas e de modelos preliminares sobre a evolução sedimentar e paleoambiental das áreas visitadas, em um contexto local, regional e dentro do cenário paleogeográfico do supercontinente Gondwana (Figura 1).

3 Resultados

Durante a expedição, 41 afloramentos (BS 1-41) foram visitados, distribuídos nos arredores de José de Freitas (12), Floriano (23) e Balsas/Riachão (6), denominados como “pontos” na figura 2. Para todos os pontos, foram realizados perfis estratigráficos (ver item 2.1). A título de exemplo, é apresentado aqui o perfil estratigráfico integrado dos pontos BS-14 e BS-15 (Figura 3), que registram as formações Piauí e Pedra de Fogo, unidades litoestratigráficas expressivas em termos de distribuição e principais alvos da expedição.

Todos os pontos visitados foram documentados fotograficamente, incluindo tomadas aéreas, em alguns pontos, obtidas por drone (Veículo Aéreo Não Tripulado). Imagens selecionadas das unidades Poti, Piauí e Pedra de Fogo são apresentadas nas figuras 4 a 7.

Embora diversos tipos de fósseis possam estar contidos nas amostras, o conteúdo micropaleontológico a ser estudado é relativo a palinomorfos (esporos, grãos de pólen, cistos algálicos), conodontes e foraminíferos, conforme apresentado no item 2.2 deste artigo. Imagens selecionadas destes microfósseis constituem a figura 8, oriundos de níveis estratigráficos das formações Piauí e Pedra de Fogo, algumas das quais inéditas.

Os elementos conodontes (Figuras 8A a D) e os foraminíferos (Figura 8H) são organismos que atestam a natureza marinha das camadas onde ocorrem. Tratam-se de microfósseis utilizados mundialmente para determinar as idades dos estratos marinhos, especialmente do Paleozoico superior (Devoniano a Permiano), com alto grau de resolução geocronológica. Os palinomorfos ilustrados são referentes a um esporo (Figura 8E) e dois grãos de pólen (Figuras 8F e G), derivados de plantas terrestres, também utilizados para fins de datação relativa, reconstituição paleoecológica, dos paleoambientes e paleoclima. Somente com um número considerável destes microfósseis, serão possíveis as determinações geocronológicas (idades) e as reconstituições dos parâmetros físico-químicos dos ecossistemas associados, justificando a extensiva coleta de amostras realizada na Expedição BIOCRONORTE.

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO Parnaíba: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

Figura 3 – Perfil estratigráfico composto dos pontos BS-14 e BS-15, mostrando o contato entre as formações Piauí (base) e Pedra de Fogo (topo), nas proximidades de Lajes, Maranhão, com informações sobre tipos de rochas, estruturas sedimentares e amostragem (PR: amostras para proveniência sedimentar; PAL: amostras para palinomorfos).

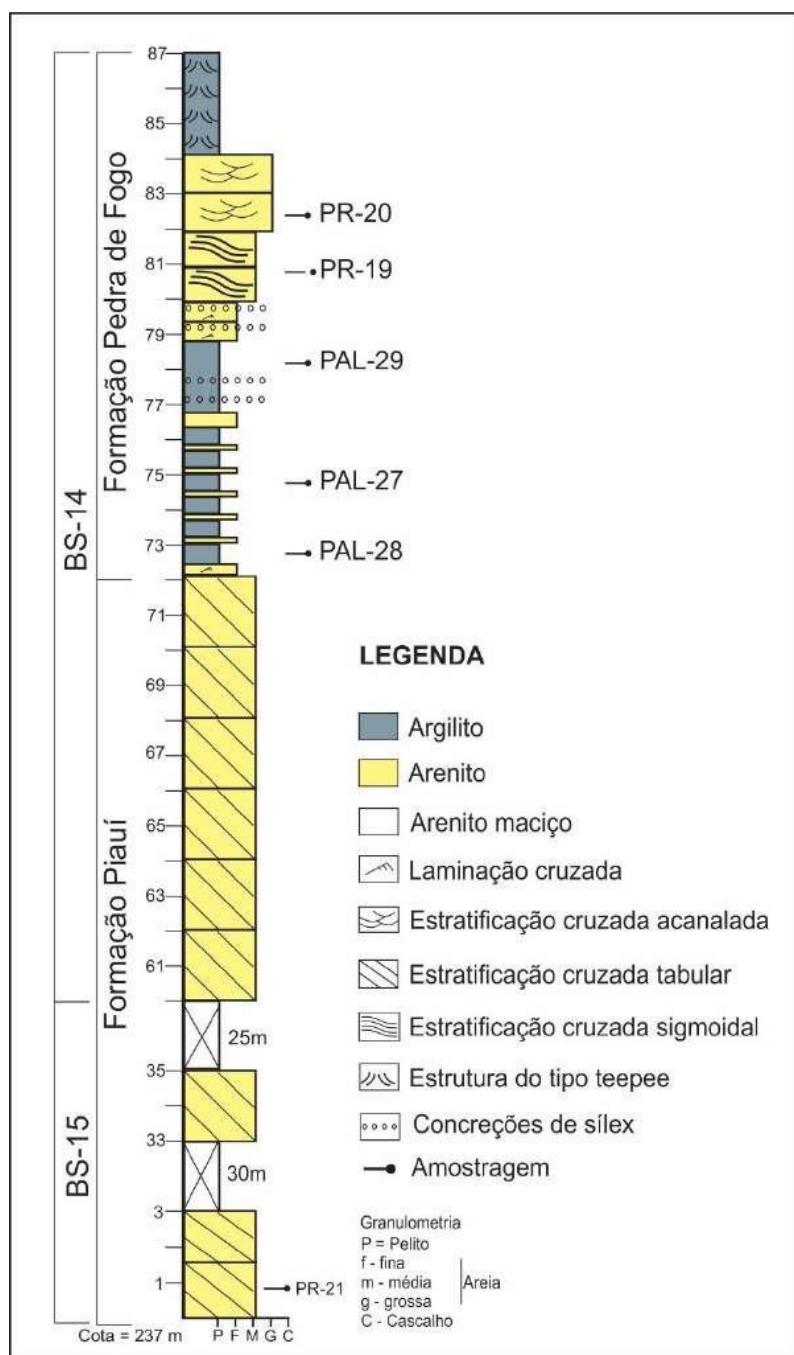


Figura 4 – Afloramentos visitados da Formação Poti (Mississipiano). A) Ponto BS-02 (Riacho dos Porcos), proximidades de Amarante, Piauí; B) Ponto BS-09, nas proximidades de Barão de Grajaú, Maranhão.



EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGAE O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

Figura 5 – Afloramentos visitados da Formação Piauí (Pennsilvaniano).

A) Ponto BS-01, nas proximidades de Floriano, Piauí; B) Ponto MO-16(Mineradora Icaraí), nas proximidades de José de Freitas, Piauí.



Figura 6 – Afloramentos visitados da Formação Piauí (Pennsilvaniano) e Pedra de Fogo (Cisuraliano). A) Ponto BS-23, contato entre as formações Piauí (base) e Pedra de Fogo (topo), no município de Palmeirais, Piauí; B) Ponto BS-07, Formação Pedra de Fogo, proximidades de São João dos Patos, Maranhão.



EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO Parnaíba: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

Figura 7 – Estruturas sedimentares da sucessão estudada. A) e B) Arenito cinza com estratificação cruzada acanalada de médio porte; B) Arenito cinza com megalaminação cruzada cavalgante; C) Arenito com estratificação cruzada de baixo-ângulo em contato com arenito exibindo acamamento ondulado; D) Arenito cinza-amarelado com estratificação cruzada *hummocky*; E) Concreção silicificada; F) Estruturas *tepee* em sílex laminado. As figuras de A-D são da Formação Poti e as E e F pertencem a Formação Pedra de Fogo.

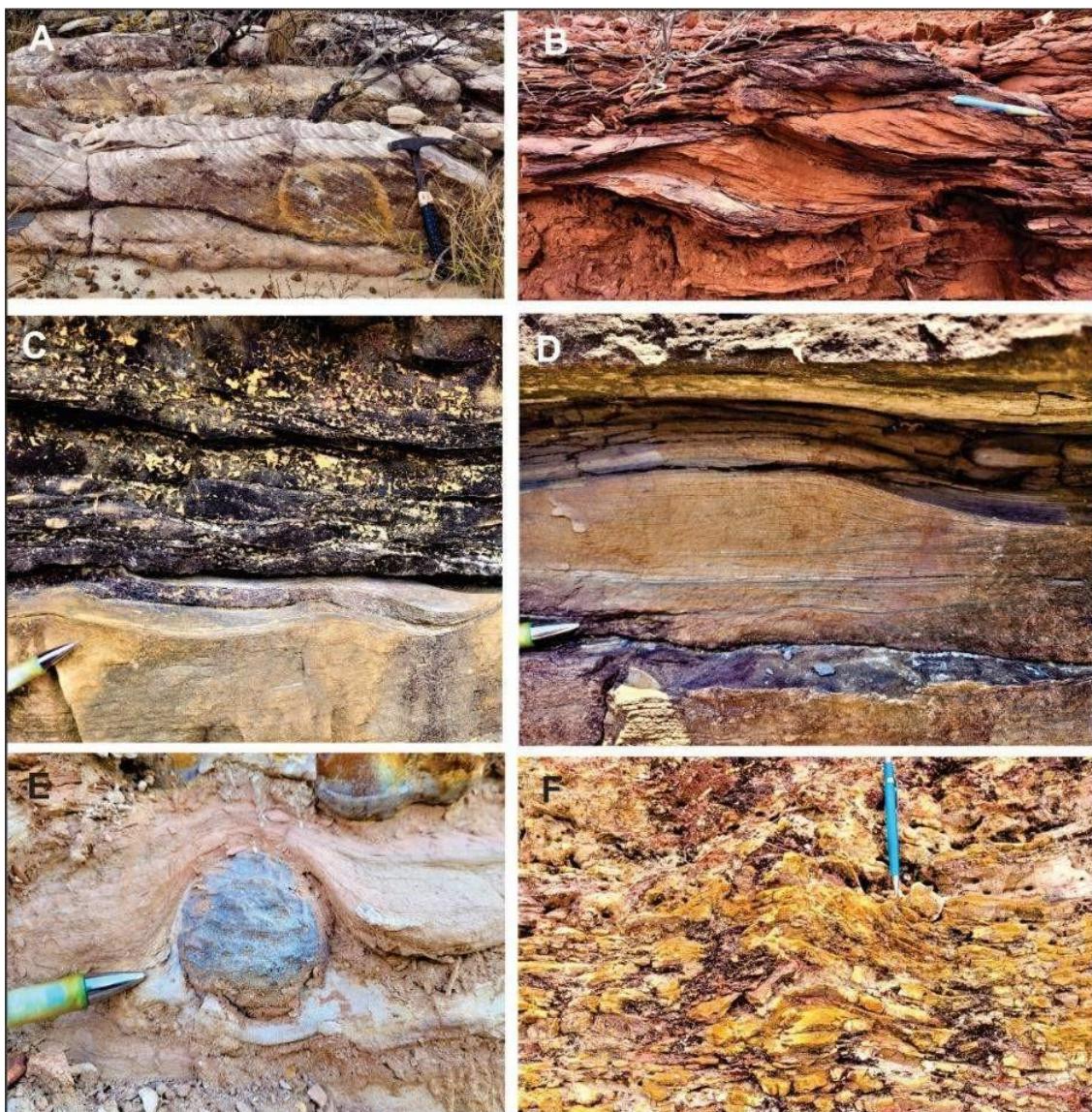
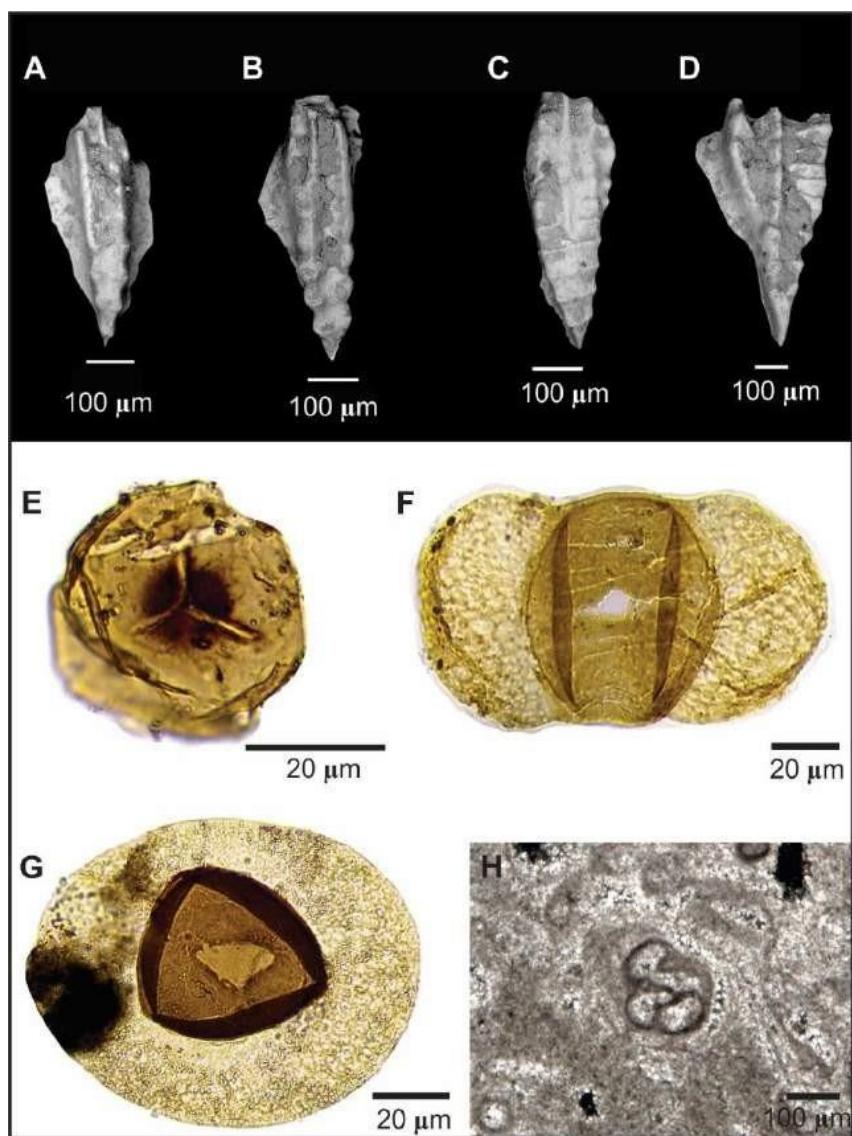


Figura 8 – Microfósseis ocorrentes na Formação Piauí, Bacia do Parnaíba. A a D) Elementos conodontes coletados na Mineradora Icaraí (Ponto MO- 09), conforme MEDEIROS (2020): A e B, *Declinognathodus noduliferus* Ellison & Graves, 1941; C, *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966; D, *Neognathodus medexultimus* Merrill, 1972; E a F) Palinomorfos ocorrentes no Poço 1-UN-09-PI (inéditos): A, *Calamospora brevirradiata* Kosanke, 1950; B, *Potonieisporites triangulatus* Tiwari, 1965; C) *Protohaploxylinus amplus* (Balme & Hennelly) Hart, 1964; H) Seção de uma lâmina petrográfica do calcário da Fazenda Mocambo (Ponto MO-01), com a presença de pequeno foraminífero (MEDEIROS, 2020).



EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO PARNAÍBA: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

4 Considerações finais

A realização da Expedição BIOCRONORTE à Bacia do Parnaíba renova o interesse geológico e paleontológico em sua área de ocorrência, seja para atendimento aos objetivos do projeto como também para ampliar e atualizar o conhecimento geológico desta porção do território brasileiro. A expedição apoia estudantes e pesquisadores no desenvolvimento de trabalhos de graduação (iniciação científica, conclusão de curso), pós-graduação (dissertações de mestrado, teses de doutoramento, pós-doutoramentos), otimizando os recursos públicos destinados pela universidade e empresa parceira, a PETROBRAS.

O projeto vem ampliar o conhecimento bioestratigráfico da Bacia do Parnaíba, ainda carente na definição precisa das idades dos intervalos estratigráficos que já possuem um razoável entendimento paleoambiental. O estudo desenvolvido neste projeto é concentrado no intervalo Carbonífero e Permiano da bacia, embora unidades mais recentes foram também investigadas. As próximas etapas de trabalho envolvem o detalhamento dos perfis estratigráficos, a recuperação e o estudo dos microfósseis contidos nas amostras, seleção e análise sobre a proveniência sedimentar e obtenção de idades relativas (bioestratigrafia) e absolutas (método Re-Os).

Como resultado desta iniciativa, é previsto considerável aumento do banco de dados sobre a paleontologia e a estratigrafia da Bacia do Parnaíba, contribuindo para o incremento do conhecimento da porção noroeste do antigo supercontinente Gondwana. Vale ressaltar que nesta porção é observada expressiva escassez de informações quando comparada a outras bacias do país e do exterior. O aproveitamento dos dados pelo setor produtivo, tais como empresas de exploração de recursos minerais e energéticos, certamente contribuirá para o desenvolvimento de potenciais atividades econômicas na região.

Apesar da Bacia do Parnaíba ser frequentemente visitada por diversos pesquisadores, as populações locais não são adequadamente conscientizadas da importância do patrimônio geológico e paleontológico da região. Propõe-se buscar formas de divulgação científica nas instituições públicas e privadas que promovam ações educativas, incluindo montagem de museus locais para armazenamento de acervos gerados por expedições como a do projeto BIOCRONORTE. Considera-se importante

que a divulgação destas pesquisas seja feita não só para os municípios abrangidos, como para os demais estados adjacentes ao Piauí, enfatizando a apropriação social do patrimônio geológico e paleontológico, culminando no aprimoramento do nível cultural e educacional da população brasileira. O projeto BIOCRONORTE propicia a interação de diferentes profissionais das Geociências, fomentando uma política de troca de experiências para mitigar o efeito da falta de informação geológica para as comunidades do interior do Brasil.

Referências bibliográficas

- ARMSTRONG, Howard & BRASIER, Martin. Microfossils. 2^a. Ed., Blackwell Publishing, 296p, 2005.
- BLAKELY, Ronald C., **Gondwana paleogeography from assembly to breakup—A 500 m.y. Odyssey**. Special Paper 441: Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space (pp.1-28), 2008.
- CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia**. Editoria Interciência, Rio de Janeiro, 3^a. Edição, v. 1, v. 2, v. 3.
- CREASER, Robert A.; SANNIGRAHI, Poulo; CHACKO, Thomas. e SELBY, David. **Further evaluation of the Re-Os geochronometer in organic-rich sedimentary rocks: a test of hydrocarbon maturation effects in the Exshaw Formation Western Canada Sedimentary Basin**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 66. 19: 3441-3452, 2002.
- DIAS-BRITO, Dias; ROHN, Rosemarie; CASTRO, Joel Carneiro de; DIAS, Ricardo Ribeiro; RÖSSLER, Ronny. Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional. O mais exuberante e importante registro florístico tropical-subtropical permiano no Hemisfério Sul. em: Winge, M. (Ed.) et al. 2009. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 2009. v. 2. 515 p. il. color.
- GEHRELS, George. **Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics**. Annual Review of Earth and Planetary Science Letters 42: 127-149, 2014.
- MARQUES, Juliana Charão. **Overview on the Re-Os isotopic method and its application on ore deposits and organic-rich rocks**. Geochimica Brasiliensis, 26. 1:49-66, 2013.
- MAZUNDER, Rajat. **Sediment provenance: Influence on compositional change from source to sink**. Em: Mazumder, R. (Ed) 2017. Sediment provenance: Elsevier, 2017. pp. 1-4.
- MEDEIROS, Renato Sol Paiva de. O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, Norte do Brasil: Implicações Paleoambientais, Paleogeográficas e Evolutivas para o Gondwana Ocidental. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, p.151. 2020.

EXPEDIÇÃO BIOCRONORTE À BACIA DO Parnaíba: DECIFRANDO A VIDA ANTIGA E O REGISTRO HISTÓRICO DO PLANETA TERRA

REISBERG, Laurie e MEISEL, Thomas. **The Re-Os isotopic system: A review of analytical techniques.** *Geostandards Newsletter*, 26. 3:249-267, 2002.

WALKER, Roger G. **Facies, facies models and modern stratigraphic concepts.** Em: Walker R. G. & James N. P. (eds.). *Facies models – response to sea level change*. Geological Association of Canada, Ontario, p. 1–14, 1992.

Agradecimentos. Os autores agradecem às instituições convenentes do projeto BIOCRONORTE: PETROBRAS (Processo Sigitec 2018/00541-5), FAURGS (8391-3), UFPA, UFPE, UFRGS (Interação Acadêmica 000803), USP, ANP (21561-6); aos pesquisadores da Universidade Federal do Piauí (campus Teresina e Floriano) que apoiaram a expedição. PAS (313340/2018-8), ACRN (307484/2018-0) e JCM (309519/2018-7) são bolsistas do CNPq.



OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

FOSSILS BEYOND PALEONTOLOGY - A LEGAL ISSUE

**Paulo Victor de Oliveira^{1*}, Maria Somália Sales Viana²,
Yana de Moura Gonçalves³**

¹ Laboratório de Paleontologia de Picos, Núcleo de Pesquisa em Ciências Naturais do Semiárido do Piauí, Docente do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros; Universidade Estadual do Piauí, Discente do Curso de Bacharelado em Direito, Campus Professor Barros Araújo, Picos, Piauí; victoroliveira@ufpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-1841-9999

² Laboratório de Paleontologia, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Campus Betânia; somalia_viana@hotmail.com; ORCID: 0000-0001-5961-2667

³ Mestranda em Sociologia, UFPI, yanamoura@outlook.com

RESUMO: Os fósseis brasileiros são conhecidos mundialmente, principalmente os da Bacia Sedimentar do Araripe. A Constituição Federal de 1988 considera os fósseis como patrimônio cultural, mas a ausência de legislação específica dificulta sua proteção. Os fósseis como bens culturais merecem ser protegidos e salvaguardados em coleções científicas de instituições públicas de pesquisa, como universidades e museus; eles merecem um lugar de destaque e devem ser acessíveis à sociedade. Este trabalho apresenta uma discussão sobre o amparo jurídico que o patrimônio paleontológico tem no Brasil. E mostra a necessidade de criar dispositivos legais que garantam sua custódia, combatam o tráfico e expressem punições e sanções para quem dilapidar o patrimônio paleontológico.

Palavras-chave: Brasil. Legislação. Patrimônio Paleontológico.

ABSTRACT: Brazilian fossils are known worldwide, mainly from the Araripe Sedimentary Basin. The Federal Constitution of 1988 considers fossils as cultural heritage, but the absence of specific legislation makes its protection difficult. Fossils as cultural goods deserve to be protected and safeguarded in scientific collections of public research institutions, such as universities and museums; they deserve a prominent place and must be available to society. This work presents a discussion about the legal support that paleontological heritage has in Brazil. And it shows the need to create legal provisions that guarantee their custody, fight the trafficking and express punishments and sanctions for those who destroy the paleontological heritage.

Keywords: Brazil. Legislation. Paleontological Heritage.

1 Introdução

OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

A vida na Terra surgiu há aproximadamente 3,8 bilhões de anos e, desde então, restos ou vestígios de animais e plantas ficaram preservados nas rochas ou em outros materiais como o gelo, o âmbar e o asfalto (Cassab, 2020). A esses restos e vestígios, dá-se o nome de fósseis, que constituem o objeto de estudo da ciência chamada Paleontologia.

Etimologicamente, a palavra paleontologia, é formada pela junção das palavras gregas: *palaios*, que significa antigo, *ontos*, que quer dizer ser, e *logos* que se refere a estudo. Enquanto a palavra fóssil tem origem no latim – *fossilis*, que quer dizer, extraído da terra.

Para ser considerado um fóssil, os restos ou vestígios devem apresentar idade igual ou superior a 11 mil anos. Os restos, como a própria palavra nos diz, constituem partes dos organismos, enquanto os vestígios, correspondem a evidências da presença/existência desses organismos, como pegadas, rastros, ovos, fezes, dentre outros.

No âmbito das Geociências, o estudo dos fósseis tem contribuído para um melhor conhecimento acerca da evolução da vida na Terra, além de possibilitar meios para se entender como os atuais ecossistemas se estabeleceram.

Nos últimos anos, o interesse pelos fósseis tem ultrapassado a esfera das geociências, tornando-se comum a aplicação de métodos e técnicas de análise advindos de outras áreas do conhecimento humano, como da física, da química e da medicina. Diante disso, cabe ressaltar que o patrimônio paleontológico também pode e precisa ser inserido e estudado dentro do escopo jurídico de um país. Esse patrimônio constitui um bem material de direito a ser tutelado pelo Estado, uma vez que conforme BRASIL (1988, art. 216), é considerado Patrimônio Cultural Brasileiro, e como tal merece e deve ser preservado.

2 Desenvolvimento

2.1 Fósseis e a Legislação Brasileira

A Constituição Federal dispõe no caput do art. 225 a dinâmica do desenvolvimento sustentável, na medida que elenca a preocupação do poder público em conservar e defender o meio ambiente na concepção de preservá-lo para as atuais e futuras gerações em torno de um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

O caput do art. 226, inciso V, ressalta que:

“Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem: V - os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico”.

Assim, percebe-se que o ordenamento jurídico brasileiro valoriza a identidade cultural no território nacional.

Desse modo, considerando que os fósseis são compreendidos como patrimônio da nação: como a legislação brasileira atual ampara e protege o patrimônio paleontológico?

A norma legislativa mais antiga ainda em vigor no país, e que assegura a proteção dos depósitos fossilíferos, é o Decreto-Lei 4.146, de 4 de março de 1942, que assim o diz:

Art. 1º - Os depósitos fossilíferos são propriedade da Nação, e, como tais, a extração de espécimes fósseis depende de autorização prévia e fiscalização do Departamento Nacional da Produção Mineral, do Ministério da Agricultura.

Parágrafo único. Independem dessa autorização e fiscalização as explorações de depósitos fossilíferos feitas por museus nacionais e estaduais, e estabelecimentos oficiais congêneres, devendo nesse caso, haver prévia comunicação ao Departamento Nacional da Produção Mineral.

Embora assegure a proteção dos depósitos fossilíferos à competência da União, em nada prevê sanções e punições a quem não cumprir o que o decreto determina. No entanto, o referido Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) estabeleceu, mais recentemente, os procedimentos para autorização e comunicação prévias para extração de fósseis, nos termos do Decreto-Lei em questão, através da Portaria DNPM 542, de 18/12/2014. Essa portaria está vigente e é o documento mais próximo que se tem de uma lei, sobre a temática. Além das definições apresentadas no Art. 2º sobre fósseis, depósito fossilífero, extração, salvamento paleontológico, dentre outros, a portaria tenta disciplinar extração de espécimes fósseis em território brasileiro, que deve ser feita apenas para fins didáticos ou científicos, sem finalidade econômica (Art. 2º, III e Parágrafo único do Art. 4º). Todo o material coletado deve ser destinado a instituições científicas, como universidades, e à estabelecimentos oficiais congêneres, como museus. Em ambos os casos, devem ser instituições sem fins lucrativos, criadas por lei e mantidas total ou preponderantemente com recursos públicos (Art. 2º, V e VI). O Art. 3º determina que a extração só pode ser feita com

OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

autorização prévia do DNPM [atual ANM – Agência Nacional de Mineral, conforme Lei 13.575/2017], enquanto o Art. 4º aponta as atividades objeto de autorização:

Art. 4º Serão objeto de autorização ou comunicação de extração de fósseis: I – atividades relacionadas a projetos técnicos de salvamento paleontológico ou projetos científicos; e II – atividades de caráter científico, técnico ou didático.

Parágrafo único. É vedada a outorga de autorização para extração de fósseis com o propósito específico de comercialização dos fósseis extraídos.

Autorização para extração de fóssil de que trata o Art. 3º é disciplinada pelo Art. 6º e poderá ser requerida por:

- I – profissional ou estudante vinculado a museu ou instituição científica da esfera municipal;
- II – profissional ou estudante vinculado a museu ou instituição científica privados;
- III – solicitação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, no caso de expedição científica;
- IV – profissional ou estudante estrangeiro, se enquadrado nos termos dos casos especiais - Capítulo XI da Portaria MCT nº 55, de 14 de março de 1990, itens 56 a 58;
- V – profissional estrangeiro sob contrato de trabalho junto a instituição referida nos incisos I e II deste artigo;
- VI – profissional responsável pela execução de programa de salvamento paleontológico no âmbito do licenciamento ambiental;
- VII – profissional autônomo que apresente declaração de endosso da instituição científica depositária do material fóssil coletado.

Conforme a portaria em tela, a autorização para extração de fósseis pode ser feita mediante comunicação eletrônica (Art. 7º), no entanto, posteriormente no ano de 2016, foi criada uma plataforma *online*, chamada COPAL - Controle da Pesquisa Paleontológica, um tipo de sistema de controle de extração de fósseis da ANM.

Por se tratar de bem ocorrente em subsolo, tido como propriedade da nação, a competência legislativa sobre os fósseis, é privativa da União, consoante determina o artigo 22, XII, da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (CRFB/88).

No âmbito legal, os fósseis são tidos como recursos minerais, e como tal, constam no artigo 4º do Decreto-Lei 227/1967 que trata do código de mineração e artigo 6º do Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, que regulamenta o Código de 1967 e outras leis sobre o mesmo tema. Portanto, de acordo com os artigos citados, “*considera-se jazida toda massa*

individualizada de substância mineral ou fóssil, aflorando à superfície ou existente no interior da terra, e que tenha valor econômico; e mina, a jazida em lavra, ainda que suspensa”. Diante disso, percebe-se que a temática de proteção aos fósseis e sua extração, estão até certo ponto, ligados à legislação minerária.

Os dados levantados por Viana (1997) revelam condições preocupantes sobre a situação das perdas irreparáveis para o país, através da exportação [tráfico] de fósseis. Segundo a autora, 56,7% dos holótipos [material que serve para definir espécies novas] estão depositados fora do país; 64,5% dos holótipos foram descritos por estrangeiros; e 85,4% dos fósseis não foram coletados pelos pesquisadores que os descreveram. Ainda neste contexto, conforme Miranda (2019) há registros de dezenas de fósseis brasileiros que foram parar ilegalmente em museus e coleções particulares da Europa, dos Estados Unidos e de países da Ásia, que saem lucrando com a “paleopirataria”. Também não é incomum encontrar fósseis brasileiros à venda em sites internacionais de comércio virtual.

Segundo Miranda (2019) agrava a situação de perda do nosso patrimônio a tímida normatização existente no Brasil sobre a proteção dos bens fósseis e quase absoluta falta de estrutura oficial para fiscalizar a sua extração e monitorar a sua adequada gestão. Ainda segundo o autor, os depósitos fossilíferos estão protegidos em nível infraconstitucional tão somente em razão da sua dominialidade e foram colocados sob a guarda do órgão federal responsável por autorizar e fomentar as atividades de mineração, uma das maiores responsáveis pela destruição de bens paleontológicos no país (Miranda, 2019).

A redação da Lei 13.575/2017, que extingue o DNPM e cria a Agência Nacional de Mineração (ANM), ainda se apoia no Decreto-Lei 4.146 de 1942 bem como no Código de Mineração de 1967, conforme o Art. 2º inciso XIII:

Art. 2º. A ANM, no exercício de suas competências, observará e implementará as orientações e diretrizes fixadas no Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), em legislação correlata e nas políticas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia, e terá como finalidade promover a gestão dos recursos minerais da União, bem como a regulação e a fiscalização das atividades para o aproveitamento dos recursos minerais no País, competindo-lhe:

[...]

XIII - normatizar, orientar e fiscalizar a extração e coleta de espécimes fósseis a que se refere o inciso III do caput do art. 10 do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), e o Decreto-Lei

OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

nº 4.146, de 4 de março de 1942, e adotar medidas para promoção de sua preservação (Brasil, 2017).

Dentro deste escopo, pontua-se ainda, a Política Nacional de Patrimônio Cultural Material instituída pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) através da Portaria nº 375, de 19 de setembro de 2018, que conforme Viana & Carvalho (2019), os seus artigos 81 e 82, referem-se ao Patrimônio Paleontológico, permitindo a manifestação deste órgão sobre a relevância cultural (apropriação humana) dos sítios paleontológicos e dos fósseis, bem como a possibilidade de atuar na proteção e preservação quando constatada a existência de valores referentes à identidade, à ação e à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade.

O patrimônio fossilífero goza ainda, da proteção de outras legislações complementares, como por exemplo: o Código Penal (Arts. 163 e 180 que tratam dos crimes de destruição de coisa alheia e receptação); a Lei nº 7.347/85 (que trata da ação civil pública em virtude de danos contra o meio-ambiente); e a Lei nº 9.605/98 (Arts. 63 e 64 que estabelece crimes ambientais contra o patrimônio cultural).

2.2 *Os fósseis como patrimônio*

De acordo com Amado (2020), desde a década de 1980, e especialmente com o texto constitucional de 1988, houve significativa mudança de perspectivas no que se refere à proteção patrimonial no Brasil. Ademais, diversas convenções internacionais deram origem a dispositivos legais que também contribuíram para a salvaguarda do patrimônio nacional, convertendo a proteção deste, em direito fundamental de dimensão coletiva e expressão de fraternidade (Amado, 2020), uma vez que, até então, apenas o patrimônio arqueológico ou pré-histórico com vestígios de ocupações humanas de paleoameríndios integravam o Patrimônio Cultural brasileiro (ver Lei 3.924/1961).

Além da Portaria DNPM nº 542, de 18/12/2014, que visa a proteção dos fósseis e depósitos fossilíferos, existem outras iniciativas anteriores e até internacionais como:

1. a criação de Geoparques, ideia originalmente concebida entre os anos de 1989 e 1990 através de esforços da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), da União Internacional para a Conservação da Natureza (*International*

Union for the Conservation of Nature - IUCN) e da União Internacional das Ciências Geológicas (International Union of Geological Sciences – IUGS). A iniciativa visava criar uma lista de sítios geológicos em âmbito mundial, denominada Lista Indicativa Global de Sítios Geológicos (Global Indicative List of Geological Sites ou GILGES), com o objetivo de identificar sítios geológicos lato sensu de excepcional valor universal. Esta ação culminou com a criação em 2004, de uma Rede Global de Geoparques (*Geoparks Global Network*) (ver <http://sigep.cprm.gov.br>).

2. a Comissão Brasileira dos Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), criada em 1997 por influência da iniciativa apresentada acima, foi coordenada pelo DNPM e contou com a parceria de outras instituições a saber: Academia Brasileira de Ciências (ABC), Associação Brasileira para Estudos do Quaternário (ABEQUA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Petróleo Brasileiro SA (Petrobras), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), Sociedade Brasileira de Geologia (SBG) e Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP). A principal atribuição da SIGEP era dar apoio ao gerenciamento de um banco de dados nacional de geossítios.

3. a Declaração de Aracaju, uma proposta apresentada pelo “Simpósio 17 – Geoconservação e Geoturismo: Uma Nova Perspectiva para o Patrimônio Natural” e aprovada pela Assembléia Geral da Sociedade Brasileira de Geologia, durante o XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, que data de 6 de setembro de 2006. Esta declaração faz algumas recomendações para a proteção do patrimônio geológico.

Todas estas iniciativas visam essencialmente a preservação de áreas com valores relevantes para a humanidade. De acordo com dados do próprio SIGEP, os Geoparques envolvem áreas geográficas onde sítios do patrimônio geológico são parte de um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável (ver <http://sigep.cprm.gov.br>).

Segundo Wild (1988, *apud* Kauffmann et. al. 2013), os locais com afloramentos que possuem fósseis devem ser considerados como monumentos culturais naturais em face sua importância científica e interesse público; sendo assim, medidas que possam fundamentar a criação de unidades de conservação, que tenham como objetivo a preservação e como

OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

resultado a diminuição de ações destrutivas e degradadoras desses ambientes são urgentes e necessárias.

Dentro desse contexto, os fósseis ganharam novo amparo legal, desta vez, de modo mais concreto, ao serem inseridos na Constituição de 1988, como bens integrantes do patrimônio cultural brasileiro, conforme o artigo 216, aqui citado.

Diante do exposto e de acordo com Miranda (2019) o patrimônio cultural brasileiro é multidiverso, que vai desde conjuntos arquitetônicos de distintos períodos, a acervos museológicos e manifestações culturais, por exemplo. No entanto, existem ainda dentro do rol de bens culturais aqueles que segundo Miranda (2019), possuem extremo significado, mas que por diversas razões, sua importância ainda não foi devidamente compreendida pela sociedade e pelos entes integrantes da administração pública. Aos bens ainda vistos dessa forma, dá-se um nome: patrimônio sem rosto. Ainda segundo o autor, estes bens estão sujeitos à marginalidade e flagrante exposição ao risco de perecimento. Nesta categoria, Miranda (2019) enquadra os fósseis.

Para Miranda (2019) a dimensão cultural do Patrimônio Paleontológico também é reconhecida no regime jurídico internacional, a partir de convicção realizada em Paris no ano de 1970 e promulgada pelo Brasil através do Decreto 72.312/73. O referido decreto versa sobre as medidas a serem adotadas para proibir e impedir a importação, exportação e transferência de propriedades ilícitas dos bens culturais, e estabelece que:

“a expressão bens culturais significa quaisquer bens que, por motivos religiosos ou profanos, tenham sido expressamente designados por cada Estado como de importância para a arqueologia, a pré-história, a história, a literatura, a arte ou a ciência, e que pertençam às seguintes categorias: a) as coleções e exemplares raros de zoologia, botânica, mineralogia e anatomia, e objeto de interesse paleontológico” (Brasil, 1973).

Juridicamente, a Portaria do DNPM nº 542, de 18/12/2014, conceitua como fóssil:

“qualquer resto, vestígio ou resultado da atividade de organismo que tenha mais de 11 mil anos ou, no caso de organismo extinto, sem limite de idade, preservados em sistemas naturais, tais como rochas, sedimentos, solos, cavidades, âmbar, gelo e outros, e que sejam destinados a museus, estabelecimentos de ensino e outros fins científicos” (Brasil, 2014).

Na Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra (1991), os fósseis são vistos como elementos de grande importância científica e cultural, uma vez que guardam

informações sobre a evolução dos seres vivos ao longo do tempo e, na maioria das vezes, sobre o processo de formação geológica da Terra. E o seu estudo, segundo diversos autores, dentre eles, Miranda (2019), importante por contribuir para o entendimento dos paleoambientes, da idade relativa das rochas e da evolução cronológica do planeta.

A palavra Patrimônio tem origem no latim *patrimonium*, onde *pater*, significa pai e *monium*, condição, estado, ação. Tal etimologia, segundo Viana & Carvalho (2019), está relacionada à herança paterna, e designa uma herança que foi deixada pelo passado, com a qual se convive hoje e que se deve transferir para as gerações futuras.

Tomando como base o Art. 216 da Constituição de 1988, onde os fósseis são tidos como bens culturais (inciso V), estando eles inseridos, muitas vezes em locais e sítios de conotação e importância histórica para a humanidade ou ainda, em locais de valor científico e ecológico, mostrando-se como testemunhos do processo de evolução da vida na Terra, preservados na rochas, são considerados uma herança. Para Viana & Carvalho (2019), a natureza e seus processos de evolução das paisagens ao longo do tempo geológico também contam a história do planeta, revelada nas rochas que singularmente são fontes inesgotáveis de significados da nossa própria existência. O que faz com que esses sítios, precisem ser conhecidos, protegidos e preservados como herança da humanidade (Viana & Carvalho, 2019).

Coliga este pensamento Delphim (2015) *apud* Miranda (2019), que assim diz:

“de forma análoga ao passado dos seres humanos, o passado da Terra deve também ser preservado como patrimônio cultural. Ademais, a terra e seus recursos minerais são fonte de toda matéria-prima e de inspiração para qualquer produção cultural. Patrimônio é sinônimo de herança e os órgãos responsáveis pela herança cultural devem atuar na defesa dos bens geológicos e paleontológicos, que devem ser legados, da forma mais íntegra e autêntica possível, às gerações porvindouras”.

Diante do exposto e em consonância com Miranda (2019), o Patrimônio Paleontológico brasileiro é um bem público, sob a ótica da dominialidade, e um Bem de Natureza Difusa em razão dos valores naturais e culturais que o constituem. No entanto, encontra uma grande fragilidade na legislação e no seu cumprimento (Viana & Carvalho, 2019).

OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

Imperioso destacar a posição jurisprudencial na qual coandua o entendimento dos fósseis enquanto patrimônio cultural, assim dispõe:

CONSTITUCIONAL E AMBIENTAL. REMESSA NECESSÁRIA. AÇÃO CIVIL PÚBLICA. SÍTIOS PALEONTOLOGICOS E ARQUEOLÓGICOS. IMPORTÂNCIA MULTISETORIAL. AFETAÇÃO PREJUDICIAL POR OBRAS DE REFORMA EM ESTRADA LOCAL, EMPREENDIDAS SOB A RESPONSABILIDADE DO MUNICÍPIO RÉU. CONDENAÇÃO DO DEMANDADO EM OBRIGAÇÕES DE NÃO FAZER (ABSTER-SE DE NOVAS INTERVENÇÕES NA ÁREA SEM A AUTORIZAÇÃO DOS ÓRGÃOS RESPONSÁVEIS, INTERROMPENDO, INCLUSIVE, O TRÁFEGO DE VEÍCULOS NA VIA VICINAL) E DE FAZER (REABILITAR O ESPAÇO ATINGIDO, COM A ELABORAÇÃO DE PLANO DE RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA). MEIO AMBIENTE NATURAL E CULTURAL (CAVERNAS, FÓSSEIS E ACHADOS ARQUEOLÓGICOS DIVERSOS). PROTEÇÃO CONSTITUCIONAL. RESPONSABILIDADE OBJETIVA. ART. 225 DA CF/88. RAZOABILIDADE E PROPORCIONALIDADE DAS MEDIDAS JUDICIALMENTE IMPOSTAS. DESPROVIMENTO. FIXAÇÃO DE MULTA DIÁRIA (ASTREINTES), DE OFÍCIO, PARA O CASO DE DESCUMPRIMENTO DA ORDEM JUDICIAL. POSSIBILIDADE. ATENÇÃO À REPRESENTATIVIDADE DAS DESCOBERTAS E AO COMPORTAMENTO PROCESSUAL E EXTRA-PROCESSUAL (NÃO) OSTENTADO PELO DEMANDADO.

(...)

(TRF-5 - REO: 200781030002967, Relator: Desembargador Federal Francisco Cavalcanti, Data de Julgamento: 19/09/2013, Primeira Turma, Data de Publicação: 26/09/2013)

Assim, o Patrimônio Paleontológico é segundo Miranda (2019), um bem de uso comum do povo [coletivo], de natureza indisponível, inalienável e imprescritível. E, uma vez que é visto e deve ser tratado como um bem, assume o papel de herança, que conforme Viana & Carvalho (2019) e Miranda (2019) deve ser protegido em benefício das presentes e futuras gerações.

3 Considerações finais

Os fósseis são bens culturais e como tal merecem proteção e salvaguarda, em coleções científicas de instituições públicas de pesquisa como as universidades e os museus. Merecem lugar de destaque e devem estar acessíveis à sociedade.

É notório que paleontologia não dispõe de uma legislação específica e de âmbito nacional. Atualmente, apenas o estado do Rio Grande do Sul tem uma legislação estadual que versa sobre a proteção ao seu patrimônio fossilífero. Diante desta lacuna, faz-se necessário trazer a luz do conhecimento da sociedade e dos legisladores, a urgência do tema em questão.

A ausência de uma legislação específica para a paleontologia assegura e incentiva o tráfico de fósseis, uma vez que não existem punições nem sanções para quem dilapida o patrimônio paleontológico. Tal fato, descredencia pesquisadores nacionais em detrimento de estrangeiros, uma vez que os brasileiros perdem a oportunidade de descobrirem e descreverem novos táxons, diminui o potencial de publicação dos pesquisadores em excelentes revistas, mostra a fragilidade da soberania nacional ao não conseguir proteger seu patrimônio natural, cultural e histórico, bem como deixa de agregar valores sociais, econômicos, turísticos e científicos à região de onde o fóssil foi extraído.

Os fósseis constituem um patrimônio valioso e, através de seu estudo, é possível entender como os atuais ecossistemas se estabeleceram, como era o passado da vida na Terra e que mudanças ocorreram no decorrer do Tempo Geológico. Ademais, os fósseis são importantes para a economia, como é o caso das descobertas de potenciais depósitos contendo petróleo, e podem ainda, como elementos da geodiversidade, serem úteis ao geoturismo, incrementando a economia dos municípios onde eles ocorrem. Neste último caso, a criação de geoparques e de museus, em pequenos municípios do interior do país, associados à implantação de políticas públicas e de incentivo à economia criativa,

OS FÓSSEIS ALÉM DA PALEONTOLOGIA – UMA QUESTÃO JURÍDICA

contribuem para a subsistência das comunidades locais, impactando de forma direta ao gerar empregos e renda.

Referências bibliográficas

- AMADO, F. 2020. Recursos Minerais. *In: Amado, F. Direito Ambiental.* 11^a ed. Salvador: Juspodivm. p. 475-484.
- AMADO, F. 2020. Patrimônio Cultural. *In: Amado, F. Direito Ambiental.* 11^a ed. Salvador: Juspodivm. p. 485-514.
- BRASIL. 1942. Decreto-Lei 4.146, de 4 de março de 1942. Dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos.
- _____. 1961. Lei 3.924/1961, de 26 de junho de 1961. Dispõe sobre os monumentos arqueológicos e pré-históricos.
- _____. 1967. Decreto-Lei nº 277/1967, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-Lei nº 1.985 (Código de Minas) de 29 de janeiro de 1940.
- _____. 1973. Decreto 72.312/73, de 31 de maio de 1973. Promulga a Convenção sobre as Medidas a serem Adotadas para Proibir e Impedir e Importação, Exportação e Transferência de Propriedades Ilícitas dos Bens Culturais.
- _____. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil.
- _____. 2014. Portaria do DNPM nº 542, de 18 de dezembro de 2014. Estabelece os procedimentos para autorização e comunicação prévias para extração de fósseis, nos termos do Decreto-Lei nº 4.146, de 4 de março de 1942, e dá outras providências.
- _____. 2017. Lei 13.575/2017, de 26 de dezembro de 2017. Cria a Agência Nacional de Mineração (ANM); extingue o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); altera as Leis nº 11.046, de 27 de dezembro de 2004, e 10.826, de 22 de dezembro de 2003; e revoga a Lei nº 8.876, de 2 de maio de 1994, e dispositivos do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).
- _____. 2018. Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, que regulamenta o Código de 1967 e outras leis.

CASSAB, R.C.T. 2010. **Objetivos e princípios.** In: CARVALHO, I.S. (ed.) Paleontologia: conceitos e métodos. Rio de Janeiro: Editora Interciência, v. 1, p. 3-12.

DELPHIM, C.F. de M. 2015. **Patrimônio cultural e Geoparque.** Geol. USP, Publ. espec., São Paulo, 2015.

IPHAN. INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. Portaria nº 375, de 19 de setembro de 2018. Institui a Política de Patrimônio Cultural Material do Iphan e dá outras providências. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/41601273/do1-2018-09-20-portaria-n-375-de-19-de-setembro-de-2018-41601031 Acesso em: 29 nov. 2021.

KAUFMANN, M.; SECCHI, M.I.; OSTERKAMP, I.C.; JASPER, A.; PIRES, E.F.; BRANCO, F.S.R.T.; CONSTANTIN, A. 2013. Gestão de Patrimônio Paleontológico, situação e ferramentas de conservação: o caso do Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Tocantins. **Estudo & Debate** (UNIVATES. Impresso), v. 20, p. 115-125.

MIRANDA, M.P.S. Fósseis são patrimônio cultural ameaçado no Brasil. Disponível em: https://www.conjur.com.br/2019-mar-30/ambiente-juridico-fosseis-sao-patrimonio-cultural-ameacado-brasil#_ftn4, visitado em 06 de setembro de 2021.

VIANA, M.S.S.; CARVALHO, I.S. 2019. **Patrimônio Paleontológico.** 1^a ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 168p.

BRASIL. Tribunal Regional Federal 5º Região. Brasília, 2013. Disponível em: < https://trf5.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/24270398/reo-remessas-ex-officio-reo_200781030002967-trf5. >. Acesso em 17.nov.2021.

Agradecimentos: À Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, em Picos (UFPI/CSHNB); ao Laboratório de Paleontologia de Picos (LPP UFPI/CSHNB) e ao Núcleo Pesquisa em Ciências Naturais do Semiárido do Piauí (NUPECINAS); à Universidade Estadual Vale do Acaraú, em Sobral, e ao Laboratório de Paleontologia (LABOPALEO); à Universidade Estadual do Piauí, Campus Professor Barros Araújo, em Picos (UESPI).

O SERTÃO JÁ FOI MAR: REGISTRO DO MAR CARBONÍFERO ITAITUBA-PIAUÍ (MIP) EM ROCHAS DA REGIÃO DE JOSÉ DE FREITAS, NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ

**The Brazilian backwoods was once sea: Carboniferous Itaituba-Piauí Sea (IPS)
record in rocks from the José de Freitas region, Northern Piauí State**

Renato Sol Paiva de Medeiros^{1*}, Pedro Augusto Santos da Silva², Afonso César Rodrigues Nogueira³, Ana Karina Scomazzon⁴, Guilherme Raffaeli Romero⁵

¹ Universidade Federal do Pará – UFPA; renato.solgeo@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1202-0143

² Universidade Federal do Pará – UFPA; pedrogeologia8@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7177-3778

³ Universidade Federal do Pará – UFPA; anogueira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5225-9255

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-

2664

⁵ Universidade de São Paulo – USP; graffaeli@usp.br; ORCID: ⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-9955-0878

RESUMO: Um grande evento transgressivo-regressivo, durante o Carbonífero, foi o responsável pela deposição dos carbonatos marinhos Pensilvânicos no oeste do antigo continente Gondwana. No norte da atual América do Sul, as bacias sedimentares amazônicas registram as evidências do mar intracontinental, denominado Itaituba-Piauí, que à oeste se conectava com o extinto oceano Pantalassa. Este evento é identificado nas rochas da porção nordeste da Bacia intracratônica do Parnaíba, representado por carbonatos fossilíferos do Membro Superior da Formação Piauí. Tais rochas, amplamente conhecidas como “Calcário Mocambo”, são encontradas nas proximidades de José de Freitas-PI, apresentando registro único do Mar Itaituba-Piauí na Bacia do Parnaíba. Utilizando a técnica estratigráfica de análise de fácies foi identificada a associação de fácies ou antigo ambiente sedimentar, com depósito de mar raso, que consiste em uma sucessão de rochas carbonáticas peloidais, fossilíferas, lateralmente contínua por centenas de metros, intercalada com folhelho betuminoso. A ocorrência de fósseis de conodontes dos gêneros *Neognathodus* e *Diplognathodus* auxiliam na determinação da idade bashkiriana, mais de 300 milhões de anos atrás, desses depósitos marinhos. A extensa circulação desse mar sobre o oeste do Gondwana, favoreceu a deposição de sequências marinhas correlatas em diversas bacias pré-andinas e do norte e nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Formação Piauí. José de Freitas. Mar Itaituba-Piauí.

ABSTRACT: A major transgressive-regressive event during the Carboniferous, was responsible for the deposition of Pennsylvanian carbonates from the west of the ancient continent of Gondwana. In the north of currently South America, the Amazonas sedimentary basins record evidence of this intracontinental sea, called Itaituba-Piauí Sea, which to the west was connected with the extinct Panthalassa ocean. These events are identified in the rocks of the northeastern portion of the Parnaíba intracratonic Basin, represented by fossiliferous carbonates from the Upper Member of the Piauí Formation. These rocks, widely known as “Calcário Mocambo”, are found near José de Freitas-PI, presenting a unique record of the Itaituba-Piauí Sea in the Parnaíba basin. Based on the stratigraphic technique of facies analysis, was identified the association of facies or an ancient

sedimentary environment know shallow sea deposit, which consists of a succession of fossiliferous peloid carbonate rocks, laterally continuous for hundreds of meters, and interspersed with bituminous shale. Conodonts fossil genus of *Neognathodus* e *Diplognathodus* help to determine the Bashkirian age, over 300 millions of years ago, for these marine deposits. The extensive circulation of the sea over Gondwana favored the deposition of correlated marine sequences in several pre-Andean basins and the north and northeast of Brazil. **Keywords:** Itaituba-Piauí Sea. José de Freitas. Piauí Formation.

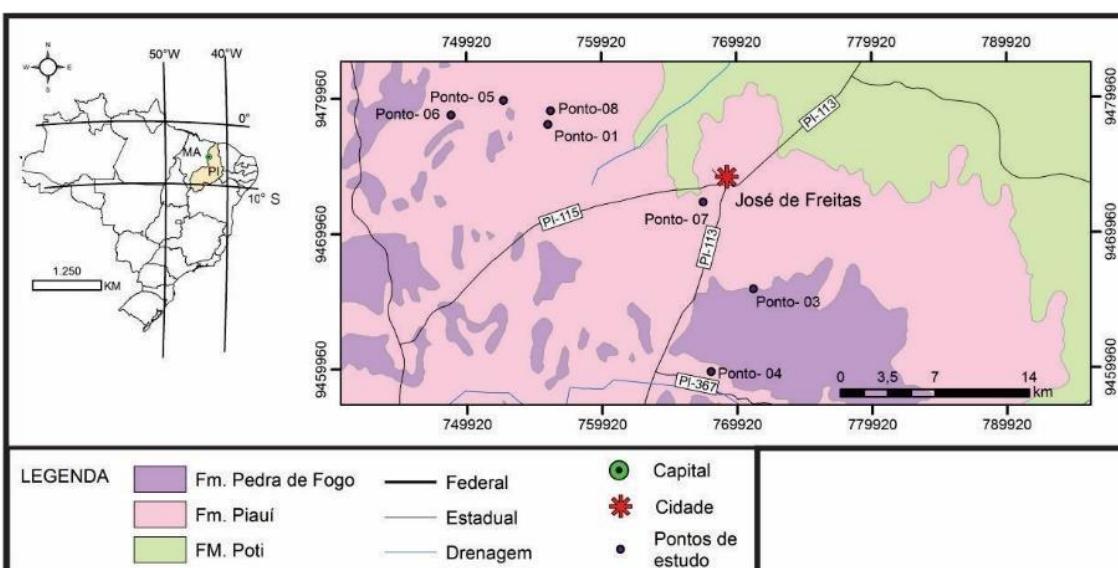
1 Introdução

Durante o Paleozoico, Era geológica que se estendeu do início do Cambriano (~542 milhões de anos atrás) ao final do Permiano (~251 milhões de anos atrás), diversos ciclos de transgressão e recuo marinho sobre os blocos continentais eram frequentes. Há aproximadamente 320 milhões de anos a atual América do Sul estava inserida em um grande bloco continental nomeado Gondwana, posicionado principalmente no hemisfério sul, e circundado pelos antigos oceanos Pantalassa a oeste e Tetis a leste. Neste período, também conhecido como Carbonífero, estes antigos oceanos influenciaram a deposição de diversas bacias sedimentares, em destaque às do norte brasileiro, tais como as bacias intracratônicas do Amazonas, Solimões e Parnaíba. As incursões marinhas durante este período foram provenientes dos aumentos globais do nível do mar, que formaram extensos mares rasos sobre a plataforma continental, denominados de mares epicontinentais. Estes mares se espalhavam por centenas de milhares de quilômetros quadrados continentais adentro, resultando em uma via interior marinha de baixa profundidade, (< 100m), dominado por processos de onda e subordinadamente por maré (HARRIES, 2011). O mar epicontinental Itaituba-Piauí representa a incursão marinha Pensilvaniana sobre o Gondwana, ou norte da atual América do Sul, que conectava todas as bacias do norte brasileiro. A Bacia do Parnaíba representa a conexão mais a leste dentre as bacias amazônicas e depósitos andinos, e guarda o registro transgressivo-regressivo do Carbonífero nos estratos da Formação Piauí (GÓES, 1995).

A Formação Piauí possui espessura máxima em torno de 220m comportando depósitos fluviais, eólicos e marinhos nas bordas sudoeste e leste, com estreitamente para norte. Esta formação recobre os arenitos e siltitos da Formação Poti, e é encoberta pelo sítex basal da Formação Pedra de Fogo. Os depósitos marinhos da Formação Piauí provenientes das transgressões carboníferas na América do Sul, tem seu registro nos carbonatos fossilíferos denominados “Carbonato Mocambo”, localizados na região de José de Freitas - Piauí, a 40km ao norte da capital Teresina (Figura 1; MEDEIROS et al., 2019). Estes carbonatos têm sido descritos originalmente como rochas calcárias

fossilíferas de plataforma carbonática, com fósseis marinhos diversificados que incluem bivalvos, braquiópodes trilobitas, briozoários, corais, foraminíferos bentônicos, conodontes e fragmentos vegetais, sendo estes organismos mencionados em trabalhos como (CAMPANHA & ROCHA CAMPOS, 1979; ANELLI, 1999; ANELLI, 1999; MEDEIROS, 2020; DIAS, 2021).

Figura 1. Mapa geológico simplificado com as principais unidades litoestratigráficas que afloram nas áreas estudadas e suas adjacências. Os afloramentos descritos estão indicados pelos pontos de estudo. Em escala maior o mapa geopolítico do Brasil, com os limites do estado do Piauí em laranja.



Fonte: Modificado de CPRM (2004).

2 Relações Paleogeográficas do MIP

O registro carbonático do MIP na Bacia do Parnaíba é encontrado no atual estado do Piauí, no Membro Superior da Formação Piauí (por exemplo: calcário Mocambo). A estreita similaridade entre a fauna do calcário Mocambo com aquelas encontradas nas formações Itaituba e Fonte Boa das bacias do Amazonas e Solimões, respectivamente, auxiliam nas descrições de grandes mares internos, ou seja, mares epicontinentais, que conectavam todas estas bacias durante o Carbonífero, por centenas de quilômetros. Dados de invertebrados marinhos, especialmente de conodontes dos gêneros *Neognathodus* e *Diplognathodus* marcados bioestratigráficos do Bashkiriano médio, e foraminíferos

bentônicos (MOUTINHO et al., 2016; SCOMAZZON et al., 2016, DIAS, 2021), sugerem que uma assembleia de organismos bentônicos marinhos rasos convivia ao longo do MIP durante o Pensilvaniano inicial a médio. Geograficamente este mar se estendeu pelos

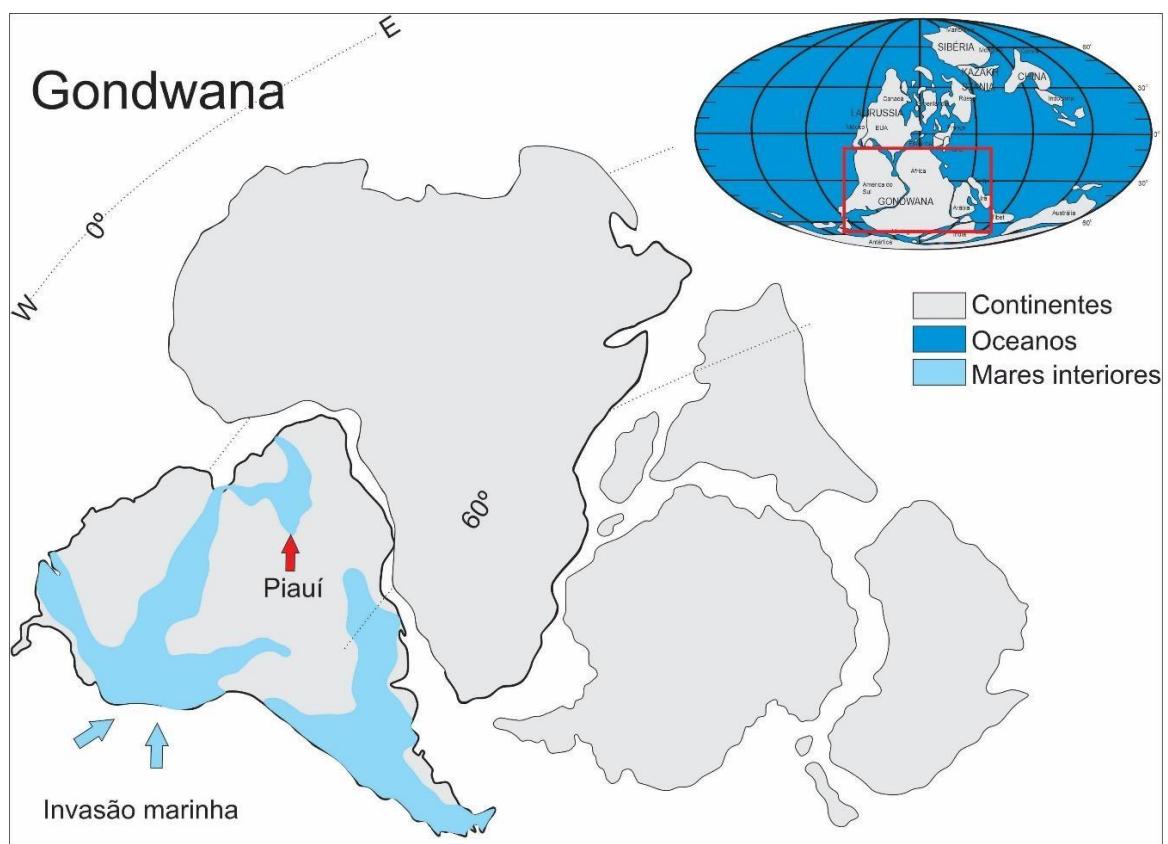
O SERTÃO JÁ FOI MAR: REGISTRO DO MAR CARBONÍFERO ITAITUBA- PIAUÍ (MIP) EM ROCHAS DA REGIÃO DE JOSÉ DE FREITAS, NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ

estados do Pará, Maranhão, Amazonas e Acre, associados às bacias do Parnaíba, Amazonas, Solimões e Acre, respectivamente, cujo sentido de transgressão marinha era de oeste para leste no antigo supercontinente Gondwana (Figura 2).

Na porção Oeste do Gondwana, os depósitos sedimentares pennsilvanianos, nos estados do Amazonas e Pará, apresentam associações de fácies e ocorrências fossilíferas indicativas de mares rasos, de águas calmas e límpidas. Em direção ao Permiano, a Formação Cruzeiro do Sul, na Bacia do Acre, registra as porções mais profundas do MIP, enquanto nos estados do Amazonas e Pará os registros sedimentares e fossilíferos são de diminuição da lâmina d'água, ressecamento observado pelos evaporitos extensos na Bacia do Amazonas e ressecamento do MIP (Medeiros, 2020).

No Peru os grupos Tarma e Copacabana e a Formação Cerro Prieto, juntamente com as formações Cano Índio e Sierra de Perija na Venezuela, de idade pensilvaniana também apresentam depósitos carbonáticos e assembleias faunísticas semelhantes às descritas na Formação Piauí, o que sugere uma conexão marinha entre os depósitos pré-andinos marinhos proximais e os carbonatos marinhos mais retrogradantes que ocorrem nas bacias brasileiras.

Figura 2. Mar Itaituba-Piauí e sua extensão ao longo do Gondwana conectando as bacias do meio Norte brasileiro até seu registro no atual estado do Piauí (seta vermelha).



Fonte: Modificado de LOCZY (1966) e WOPFNER (1999).

3 Materiais e métodos

Este artigo teve como principal técnica o modelamento de fácies proposto por WALKER (1992) e MIALL (1994), como ferramenta de identificação e descrição das feições sedimentares para reconstituição ambiental.

4 Resultados

4.1 Registro do MIP na Bacia do Parnaíba

Os afloramentos da Formação Piauí, na região de José de Freitas, estão inseridos no contexto geomorfológico do domínio de Superfícies Aplainadas da Bacia do Rio Parnaíba, composta por extensas áreas dissecadas. O conjunto de fácies/microfácies carbonáticas e siliciclásticas da porção superior da Formação Piauí exibe espessura aflorante de 55 m, exposto em frentes de lavra inativas e ativas, e na área urbana da cidade de José de Freitas, Estado do Piauí. Os pontos visitados estão localizados na Fazenda Contenda, na área de exploração da Mineradora Icaraí, e na Fazenda Mocambo, cujo **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, Volume 3, Número 3, p.211 – 223 , Janeiro/Junho, 2022. **ISSN: 2675-9748.**

nome fornece a denominação informal dos carbonatos estudados dada por ASSIS (1979) e coadunado por ANELLI (1994, 1999).

4.1.1 Associação de fácies depósito de mar raso (AFMR)

Esta associação de fácies consiste em uma sucessão de camadas tabulares, lateralmente contínuas e lenticulares de até 4 m de espessura, expostas na frente de lavra da Mineradora Icaraí e na lavra abandonada da fazenda Mocambo (Figura 1). É composta de dolomicroesparito com braquiópodes e cnidários (Dbc), dolomicroesparito com gretas de contração (Dc), *dolograinstone* peloidal com bivalves e gastrópodes (Dgb), *dolograinstone* peloidal com gretas de contração (Dgg) e folhelho betuminoso (Fb). Esta associação está organizada em ciclos de escala métrica, marcados por pelitos na base e camadas delgadas de arenitos e gretas de contração no topo, indicando tendência de raseamento ascendente (*shallowing upward*). Em geral, as lâminas desta associação de fácies apresentam-se fortemente dolomitizadas, o que prejudicou o reconhecimento detalhado dos bioclastos, geralmente na forma de “fantasmas”.

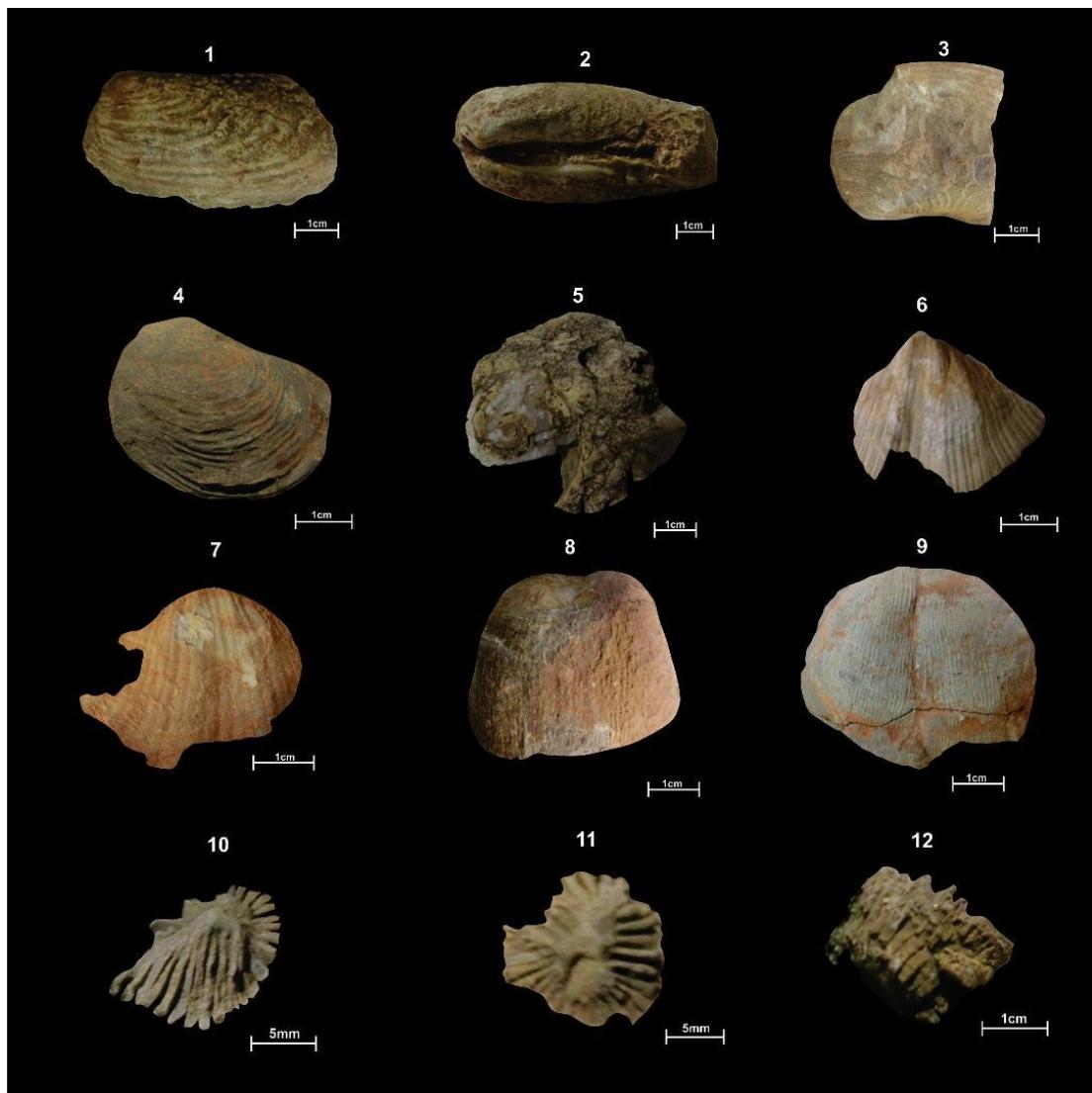
A fácie dolomicroesparito com braquiópodes e cnidários, de cor cinza, está disposta em camadas tabulares e onduladas, intercaladas com folhelhos betuminosos e delgadas lentes, milimétricas, de pelitos laminados carbonáticos (Figura. 3). Apresenta uma fauna diversificada e abundante, composta por braquiópodes e moluscos, como alguns dos gêneros *Brasilioprotectus*, *Choristites*, *Wilkingia*, *Oricrassatella* e cnidários da ordem Rugosa (Figura 4). A fácie dolomicroesparito com gretas de contração compõem de camadas tabulares com laminação plano-paralela e o topo ondulado, com aproximadamente 40 cm de espessura, lentes de pelito laminado e escassos fragmentos de bioclastos. Na localidade da Fazenda Contenda, esta microfácie exibe gretas de contração ortogonais.

Figura 3. A) Frente de lavra da mineradora Icaraí, expondo sequência carbonática de 3 m de espessura; B) Fácie sedimentar dolomicroesparito com braquiópodes e cnidários, apresentando maior concentração fossilífera no topo da camada; C) Fácie sedimentar folhelho betuminoso, laminada e com cor preta proveniente da alta concentração de matéria orgânica.



Figura 4. Assembléia fossilífera na fácie Dbc; 1, 2 e 3) Bivalves do gênero *Wilkingia*; 4) Bivalve do gênero *Oricrassatella*; 5) Molde de gastrópode substituído por cimento de dolomita espática; 6 e 7) Braquiópode do gênero *Choristites*; 8 e 9) Braquiópodes do gênero *Brasiliopproductus*; 10, 11 e 12) Cnidários rugosos.

O SERTÃO JÁ FOI MAR: REGISTRO DO MAR CARBONÍFERO ITAITUBA- PIAUÍ (MIP) EM ROCHAS DA REGIÃO DE JOSÉ DE FREITAS, NORTE DO ESTADO DO PIAUÍ



Fonte: MEDEIROS et al. (2019).

A fácie *dolomainstone* peloidal com bivalves e gastrópodes, de cor cinza esbranquiçada, está disposta em camadas tabulares, lateralmente descontínuas, com espessura variando de 20 cm a 40 cm. Apresenta macroporos de dissolução preenchidos por dolomita espática envolta por uma massa amorfa de matéria orgânica e óxido-hidróxido de ferro (Figura 5). Icnofósseis estão presentes como escavações horizontais, alongadas e bifurcadas, com preenchimento semelhante ao da rocha hospedeira. Concentrações de matéria orgânica estão disseminadas na rocha. Nesta fácie também ocorrem macrofósseis como moldes internos de gastrópodes substituídos por dolomita espática, moldes internos e externos de bilvalves, tal qual o gênero *Wilkingia* (Figura 4). Além dos macrofósseis foram identificados fragmentos de bioclastos indistintos, foraminíferos e pelóides.

A fácie *dolostone* peloidal com gretas de contração possui cor cinza esbranquiçada e está disposta em camadas tabulares, lateralmente descontínuas, com espessura variando de 15 cm a 50 cm. No topo da fácie ocorrem horizontes micríticos delgados com gretas de contração poligonais, decimétricas a métricas de comprimento preenchidas por micrito. Ocorrem foraminíferos e fragmentos de bioclastos indiferenciados, associados aos peloídes. Os peloídes da microfácie Dgg variam de 240 μm a 520 μm em tamanho. Bioclastos micritizados correspondem principalmente aos foraminíferos e fragmentos de conchas desarticuladas e articuladas de bivalves tem tamanho entre 2 mm e 4,4 mm. Também são descritos intraclastos micríticos, normalmente angulosos, com tamanho médio de 0,5 mm. A porosidade é secundária, móldica (peloide e concha), intraparticular nos peloídes, e do tipo vug, bem como primária como intraparticular em conchas, e interparticular entre peloídes e bioclastos. Alguns apresentam preenchimento por óxido/hidróxido de ferro e dolomita muito fina (10 μm), hipidiotópica, assim como cimento dolomítico espáctico pontual (variando de 400 μm a 2200 μm).

Figura 5. A) Afloramento da fazenda Mocambo; B) Fácie sedimentar *dolostone* peloidal com gretas de contração, com gretas poligonais métricas noto; C) Fácie *dolostone* peloidal com bivalves e gastrópodes, com fósseis identificados na camada por setas vermelhas.



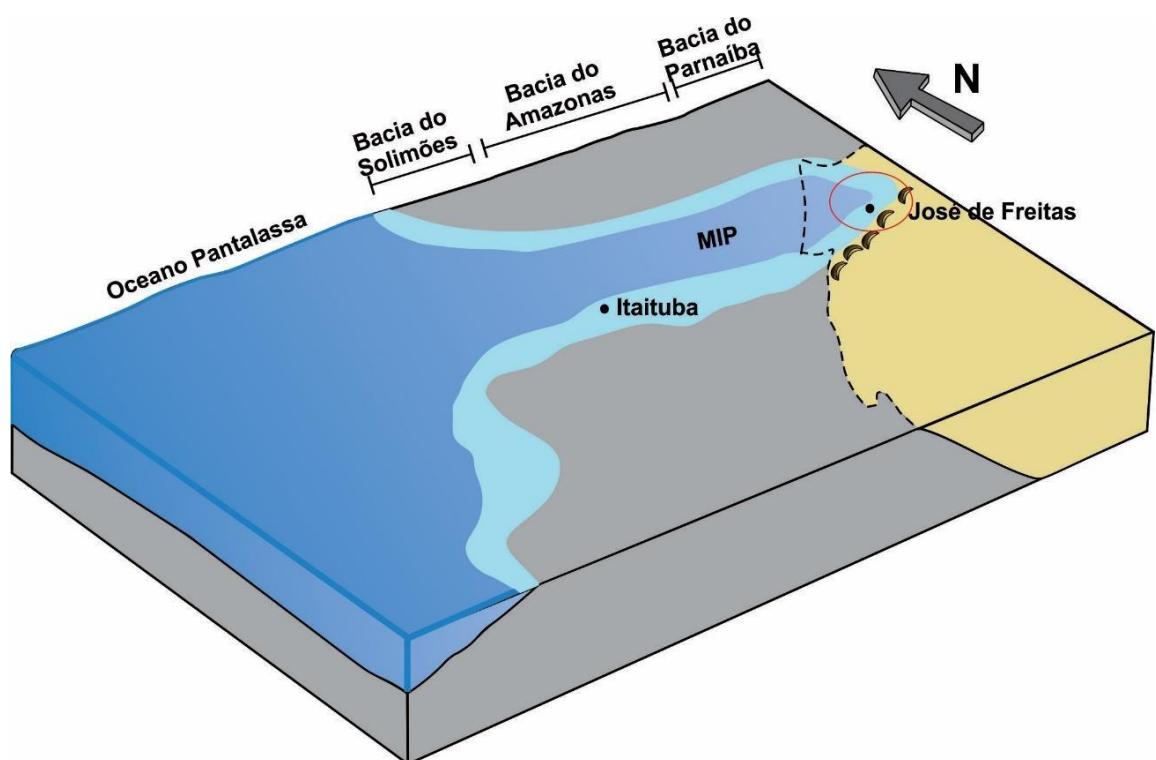
A fácie folhelho betuminoso, de cor preta, apresenta laminações plano-paralelas, passando lateralmente para laminações onduladas, dispostas em camadas variando entre 15 cm a 60 cm de espessura, intercaladas com a fácie Dbc. Localmente ocorre em forma de lentes, com espessura de 2 cm à 5 cm (Figura 3). A fácie Fb destaca-se na sucessão por apresentar grande quantidade de matéria orgânica e cristais de pirita associados.

5 Considerações finais

A AFMR foi depositada em plataforma carbonática rasa durante um período de estabilidade no Pensilvaniano (Bashkiriano médio) datado pela ocorrência de conodontes *Neognathodus* e *Diplognathodus*. Este período marca o final da inundação marinha nas porções mais continentais do Gondwana oeste. A distribuição do Carbonato Mocambo é restrita a porção norte da Bacia do Parnaíba, a qual é uma consequência da antiga configuração do MIP que não alcançava as porções mais ao sul da atual bacia (Figura 6). Esta paleogeografia explica o fato dos carbonatos nunca terem sido encontrados sobre os

depósitos eólicos da Formação Piauí para a região sul, já que estes foram costeiros ao marepicontinental.

Figura 6. A) Modelo ambiental do antigo Mar Itaituba-Piauí (MIP) transgredindo sobre as Bacias intracontinentais brasileiras, em destaque a Bacia do Parnaíba, com a deposição do Carbonato Mocambo nas proximidades da cidade de José de Freitas.



Fonte: MEDEIROS et al. (2019).

Embora o carbonato Mocambo esteja restrito às proximidades da cidade de José de Freitas, no Piauí, o mar apresentava extensão de centenas de quilômetros, banhando diversas bacias sedimentares, e registrando sua existência principalmente nas grandes bacias intracratônicas (Figura 2). Trabalhos futuros que consigam abordar novos pontos de amostragem, terão a possibilidade de oferecer mais informações sobre a geometria e adimensão deste evento marinho.

Referências bibliográficas

- ASSIS, J. F. P. 1979. Uma fáunula de moluscos bivalves do calcário Mocambo, Formação Piauí, Carbonífero Superior da Bacia do Maranhão – Município de José de Freitas, Estado do Piauí. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em geologia, UFRJ, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 94p.
- ANELLI, L. E. 1994. Pelecípodes da Formação Piauí (Pensilvaniano Médio), Bacia do Parnaíba, Brasil. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo: 148p.
- ANELLI, L. E. 1999. Invertebrados neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): Taxonomia; análise cladística das subfamílias Oriocrassatellinae (Crassatellacea, Bivalvia) e Neospiriferinae (Spiriferoidea, Brachiopoda). Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 184 p.
- CUNHA, P., MELO, J., SILVA, O. 2007. Bacia do Amazonas, Boletim de Geociências. Manaus. Petrobrás, v. 15(2), 227-254.
- DIAS, Sanmya Karolyne Rodrigues. 2021. Bioestratigrafia e paleoecologia dos depósitos marinhos pensilvanianos da Formação Piauí a partir de novas ocorrências de conodontes. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p.62.
- GÓES, A. M. 1995. A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba. 171. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- HARRIES, P. 2011. Earth system: history and natural variability. Epeiric Seas: A Continental Extension of Shelf Biotas. Encyclopedia of Life Support Systems. v.4, p 1-17p.
- LOCZY, L. 1966. Contribuições à paleogeografia e história do desenvolvimento geológico da Bacia do Amazonas. Rio de Janeiro. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. 223, 1-96p.
- MEDEIROS, Renato Sol Paiva. 2020. O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, Norte do Brasil: Implicações Paleoambientais, Paleogeográficas e Evolutivas para o Gondwana Ocidental. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p.151.
- MEDEIROS, R.S.P., NOGUEIRA, A.C.R., DA SILVA, J.B.C., Jr., SIAL, A.N. 2019. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, Volume 3, Número 3, p.211 – 223 , Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748.

- Carbonate-clastic sedimentation in the Parnaíba Basin, northern Brazil: Record of Carboniferous epeiric sea in the Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 91, 188-202.
- MIALL, A. D. 1994. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Book Cliffs, Utah. *Journal of Sedimentary Research*, 64, 146-158.
- MOUTINHO, L., NASCIMENTO, S., SCOMAZZON, A., LEMOS, V. 2016. Trilobites, scolecodonts and fish remains occurrence and the depositional paleoenvironment of the upper Monte Alegre and Itaituba formations, Lower – Middle Pennsylvanian of the Amazonas basin, Brazil. *Journal of South America earth science*. 72:76-94p.
- SCOMAZZON, A. MOUTINHO, L. NASCIMENTO, S. LEMOS, V. MATSUDA, N. 2016. Conodont bioestratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group, Early–Middle Pennsylvanian of the Amazonas basin, Brazil. *Journal of South America earth science*. 65:25-42p.
- WALKER, R.G. 1992. Facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker, R.G., James, N.P. (eds.) *Facies Models - Response to Sea Level Change*. Ontario, Geological Association of Canadá. 1-14.
- WOPFNER, H. 1999. The early Permian event deglaciation event between East Africa and Northwestern Australia. *Journal of African earth science*. 29:77-90.

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido com apoio técnico do Programa de Pós- graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará (UFPA), e financeiro da Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos também a colaboração do professor Dr. Paulo Alves Souza, com suas correções minuciosas e perspicácia científica.



OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

CONODONTS AND BENTHIC FORAMINIFERS OCCURRENCE IN THE BASHKIRIAN OF PIAUÍ FORMATION, BALSAS GROUP, PARNAÍBA BASIN

**Sara Nascimento¹, Sanmya Karolyne Rodrigues Dias², Luciane Profs
Moutinho³, Ana Karina Scomazzon⁴**

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul; sara.nascimento@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2396-211X

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul; sanmyadias.geo@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3386-640

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul; luci.profs@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3062-4116

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-2664

RESUMO: Conodontes são vertebrados marinhos primitivos utilizados mundialmente para o refinamento e correlação de idade das sequências sedimentares ao longo do Paleozoico e Triássico. Foraminíferos são protistas abundantes nas rochas sedimentares que fornecem importantes informações na reconstrução de ambientes sedimentares (paleoecologia) e para a datação relativa de estratos (bioestratigrafia). Dentre as bacias intracratônicas (localizadas no interior dos continentes) brasileiras que apresentam o registro do desenvolvimento de mares epicontinentais paleozoicos no Gondwana Ocidental, a Bacia do Parnaíba apresenta evidências desta invasão marinha nas sequências carbonáticas do Membro Superior da Formação Piauí, em particular na sequência fossilífera do Carbonato Mocambo. O estudo do conteúdo paleontológico nas rochas carbonáticas dessa sucessão auxiliam a reconstruir como era o cenário paleoecológico e paleoambiental da sequência, além de possibilitar o refinamento bioestratigráfico, utilizando fósseis guias como os conodontes e foraminíferos. Neste trabalho é abordada a importância destes dois grupos de fósseis marinhos como ferramenta geológica na bioestratigrafia e paleoecologia e suas ocorrências na Formação Piauí desde o trabalho pioneiro na década de 1979 até as perspectivas atuais.

Palavras-chave: Conodontes. Foraminíferos Bentônicos. Bacia do Parnaíba. Formação Piauí. Bashkiriano.

ABSTRACT: Conodonts are primitive marine vertebrates used worldwide for the refinement and age correlation of sedimentary sequences throughout the Paleozoic and Triassic. Foraminifera are abundant protists in sedimentary rocks that provide important information for the reconstruction of sedimentary environments (paleoecology) and for the relative dating of strata (biostratigraphy). Among the Brazilian intracratonic basins (located inside the continents) that present a record of the development of Paleozoic epicontinentals seas in Western Gondwana, the Parnaíba Basin presents evidence of this marine invasion in the carbonate sequences of the Upper Member of the Piauí Formation, in particular in the fossiliferous sequence of Mocambo Carbonate. The study of the paleontological content in the carbonate rocks of this succession helps to reconstruct the paleoecological and paleoenvironmental scenario of the sequence, in addition to enabling biostratigraphic refinement, using fossil guides such as conodonts and foraminifera. This paper addresses the importance of these two groups of marine fossils as a geological tool in biostratigraphy and paleoecology and their occurrences in the Piauí Formation from the pioneer work in the 1979s to the current perspectives.

Keywords: Conodonts. Benthic Foraminifera. Parnaíba Basin. Piauí Formation. Bashkirian.

1 Introdução

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.224 – 241, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748.

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

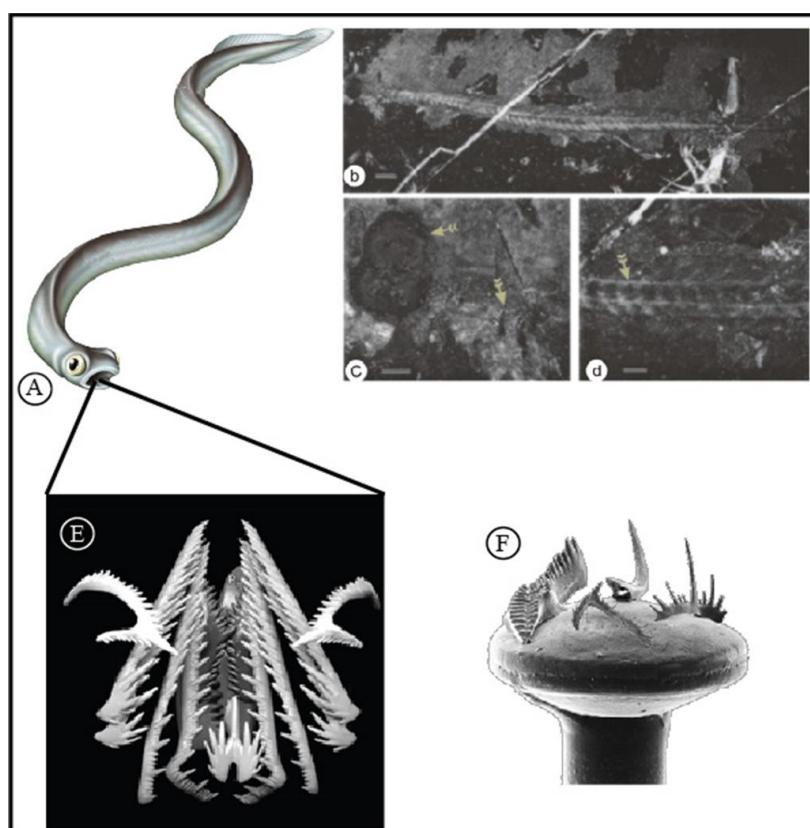
Conodontes são vertebrados marinhos menores de cinco centímetros, que viveram nos mares do passado, evoluíram rapidamente no tempo, sobrevivendo a diferentes crises paleoecológicas ao longo do Paleozoico e Triássico. Portadores de estruturas mineralizadas milimétricas denominadas elementos conodontes, os quais formavam aparelhos alimentares com tamanho em torno de cinco milímetros (Figura 1), fossilizáveis resistentes ao desgaste físico e químico das rochas que os incluem, esses microfósseis são encontrados em abundância em muitas fácies sedimentares desta época. Excelentes fósseis guias além de bons indicadores bioestratigráficos e paleoecológicos durante os 300 milhões de anos de sua existência. São importantes indicadores termais através do IAC - Índice de Alteração de Cor, pois seus elementos podem variar de cor entre amarelo pálido a preto (50° a 600°C), constituindo-se em importante ferramenta na pesquisa do petróleo. Em circunstâncias favoráveis, onde não tenha ocorrido atividade de correntes, escavadores ou bioturbação, os aparelhos alimentares podem ser preservados intactos em camadas de rochas sedimentares, principalmente folhelhos e carbonatos. Porém, evidências das partes moles como tecido mineralizado fossilizado do animal conodonte (Figura 1), são extremamente raras (ALDRIDGE ET AL., 1993).

A descrição das espécies de conodontes, seguida da sua classificação taxonômica, permite o refinamento das idades e reconstruções paleoecológicas da área de estudo, a partir da comparação dessas ocorrências com outras áreas em diferentes bacias paleozoicas do Brasil e do mundo.

No Brasil, eles têm sido estudados desde a década de 1960 em vários trabalhos publicados nas bacias do Amazonas (SCOMAZZON ET AL, 2016) Solimões e Parnaíba (CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS, 1979; MEDEIROS 2020, DIAS, 2021), em carbonatos pensilvanianos, de águas rasas e quentes, recuperados como elementos isolados. Vale ressaltar também a ocorrência de elementos conodontes *Sweetognathus whitei* no Permiano da Bacia do Acre (LEMOS & SILVA, 1996). Na Bacia do Paraná, os conodontes foram encontrados em 2008, preservados como clusters e assembleias naturais, no folhelho Lontras. Sendo as primeiras ocorrências de aparelhos alimentares completos em bacias sedimentares da América Latina (WILNER ET AL., 2016).

Figura 1. Conodonte. A) representação artística do animal conodonte (Modificado de PURNELL ET AL., 1995); b) Impressão fóssil

do animal conodonte; c) Impressão fóssil da região cefálica com ênfase nos grandes olhos; d) Impressão fóssil, em detalhe a notocorda (Modificado de ALDRIDGE ET AL., 1993); E) Representação tridimensional do aparelho alimentar dos conodontes (Modificado de ALDRIDGE ET AL., 1993); F) Principais formas de elementos conodontes dispostos sobre uma cabeça de alfinete (observe o tamanho $\leq 1\text{mm}$) (Modificado de PURNELL ET AL., 1995).

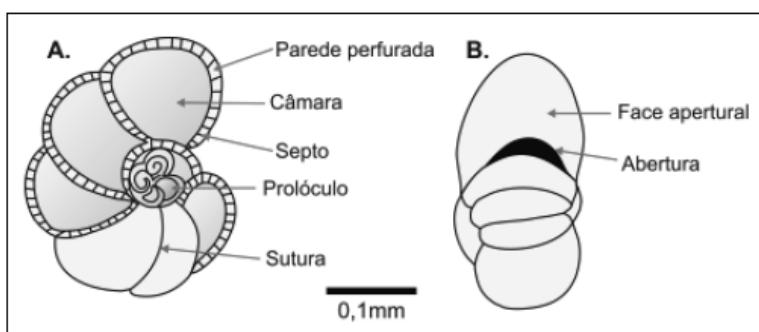


Conceitualmente, foraminíferos bentônicos são microfósseis estudados com o auxílio de um estereomicroscópio (lupa) ou microscópio. Correspondem aos restos fossilizados de carapaças mineralizadas de protistas marinhos com hábito de vida bentônico. Estes organismos surgiram no Cambriano, há cerca de 570 milhões de anos e vivem até o Recente. Suas carapaças são predominantemente formadas por carbonato de cálcio, podendo ocorrer aglutinação de partículas do sedimento em que vivem. Compostas por uma ou mais câmaras (Figura 2), as quais vão sendo construídas ao longo da vida do organismo e que, em sua maioria, são menores que um milímetro de diâmetro, interligadas por uma ou várias aberturas. Estas conexões entre as câmaras por aberturas deram origem ao nome do grupo,

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

pois a palavra foraminífera é formada pelos termos em latim *foramen* (orifício) e *ferre* (possuir). Os caracteres morfológicos da carapaça constituem a base da classificação taxonômica dos foraminíferos, dentre as quais estão a composição da parede, a forma, o arranjo e número de câmaras, as linhas de sutura, o número e a posição da(s) abertura(s) e a ornamentação (ZERFASS, 2008).

Figura 2. Morfologia básica para a classificação dos foraminíferos. A. Vista espiral em seção longitudinal parcial, mostrando a estrutura interna e a morfologia externa; B. Vista lateral, mostrando a abertura primária. Modificado de ZERFASS (2008).



Por serem bentônicos, habitavam o fundo oceânico, vivendo sobre o substrato ou ligeiramente enterrados, na interface entre a água e os sedimentos. Possuem caráter endêmico, ou seja, caracterizam-se por ocupar uma determinada região ou ambiente (ANTUNES & MELO, 2001) e são suscetíveis às variações físico-químicas e batimétricas sendo, portanto, bons indicadores de mudanças paleoambientais.

No âmbito da micropalentologia do Paleozoico das bacias intracratônicas brasileiras, especialmente o intervalo Pensilvaniano/Permiano das bacias do Amazonas, Solimões e Acre são amplamente utilizados em estudos bioestratigráficos locais, intra e extrabacinais, gerando resultados refinados na datação e correlação de seções estratigráficas (ALTINER & SAVINI, 1995). No que tange ao contexto paleoecológico e paleoambiental, o estudo de biofácies e as caracterizações paleoecológicas e de paleoambiente podem ser bem detalhadas através do estudo destas formas, pois eles indicam profundidade, salinidade e temperatura, bem como os níveis energéticos do meio, além de características do substrato, níveis de oxigenação e matéria orgânica; permitindo reconstruções bastante precisas.

Em função destas características, conodontes e foraminíferos bentônicos são considerados importantes fósseis guia do Paleozoico. Além de ótimos indicadores bioestratigráficos, tem se mostrado eficientes no auxílio a interpretações nas mudanças das

condições paleoambientais ocorridas neste intervalo, fato que também os qualifica como ferramenta de interpretação em análises paleoecológicas e paleoambientais. Além disso, tais microfósseis podem ser coletados em afloramentos ou em amostras de perfurações do subsolo através de testemunhos, tornando seu manuseio e transporte facilitado. Em uma amostra sedimentar de dezenas de gramas pode existir centenas de exemplares, tornando seu estudo prático, confiável e eficaz.

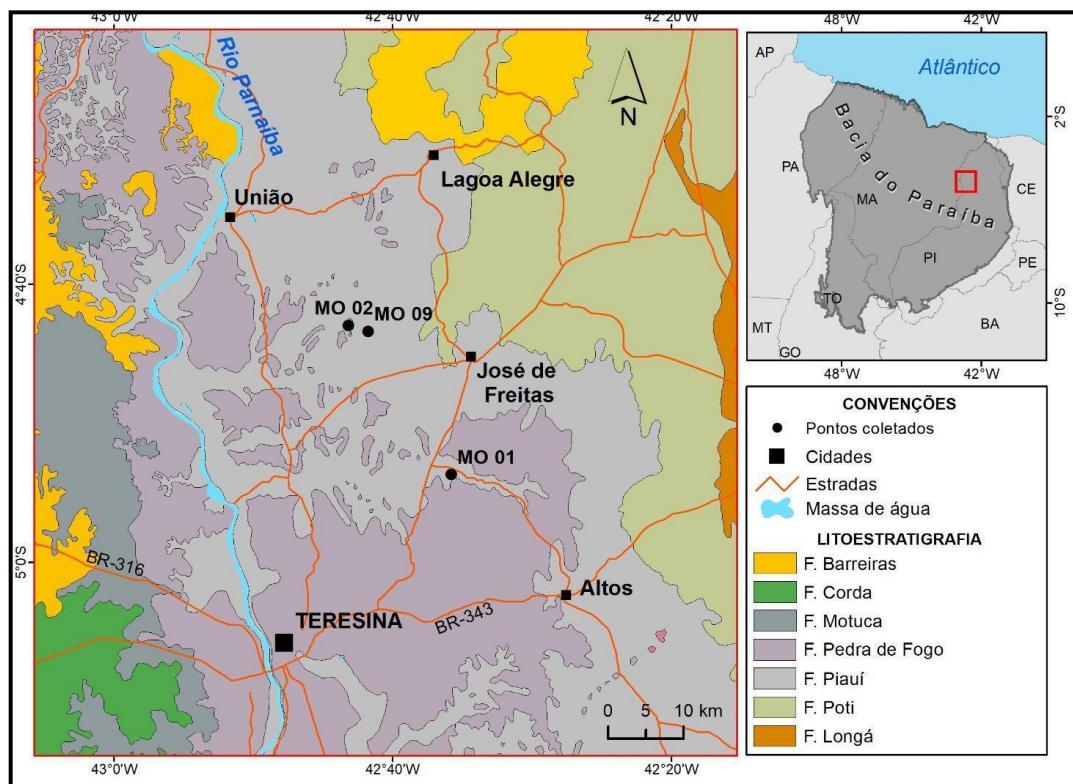
Conodontes e foraminíferos estão sendo estudados na Bacia do Parnaíba, situada ao norte do território brasileiro, assim como as vizinhas bacias paleozoicas do Solimões e Amazonas, possui rochas com potencial para geração de hidrocarbonetos - óleo e gás. De grande importância para a indústria do petróleo, esses microfósseis marinhos estão sendo utilizados na determinação da idade das rochas dessa bacia assim como para o estabelecimento de correlações a curtas e longas distâncias, incluindo outras bacias paleozoicas, apoando as análises estratigráficas e permitindo o refinamento geológico da arquitetura das seções paleozoicas das bacias do norte do Brasil.

2 Materiais e Métodos

Quatro excursões para coletas de amostras foram realizadas nas redondezas de José de Freitas, município localizado a 48 km de Teresina, capital do Piauí. A primeira expedição resultou na publicação de Campanha & Rocha Campos na década de 1970 e última realizada em 2021 contemplando novos afloramentos com maior ênfase na borda leste da bacia, relativa às regiões mais ocidentais do Estado do Piauí e orientais/sul do Estado do Maranhão, onde afloram parte das unidades do Grupo Balsas. Na região de José de Freitas-PI, norte de Teresina, foram observados os depósitos carbonáticos e lacustres da Formação Piauí, estudados com o objetivo de melhorar o posicionamento estratigráfico e as relações diacrônicas dentro da formação. Uma ampla amostragem para análises bioestratigráficas de conodontes e foraminíferos bentônicos foi realizada (Figura 3).

Figura 3. Localização do Calcário Mocambo, região de José de Freitas. Indicação das principais localidades, rodovias e dos afloramentos MO-01, MO-02 e MO-09 (Fonte: DIAS, 2021).

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA



Na região de José de Freitas-Pi, norte de Teresina, foram observados os depósitos carbonáticos e lacustres da Formação Piauí, estudados com o objetivo de melhorar o posicionamento estratigráfico e as relações diacrônicas dentro da formação. Uma ampla amostragem para análises bioestratigráficas de conodontes e foraminíferos bentônicos foi realizada.

As amostras de carbonatos e folhelhos são fragmentadas mecanicamente e dissolvidas em solução química. O material com aproximadamente 500g por amostra é desagregado mecanicamente em torno de 2 cm. Carbonatos e folhelhos são colocados em baldes de plástico com capacidade para 2 L onde foram adicionados 90% de água e os outros 10% de reagente- ácido acético para os carbonatos e peróxido de hidrogênio para folhelhos. A mistura é deixada em reação em capela de exaustão por uma semana, ou enquanto houver reação, para os carbonatos e aproximadamente quinze minutos para os folhelhos. Os carbonatos são agitados uma vez por dia para ionização ácida e dissolução completa. Ao final desta etapa, o material é lavado e descartado em um balde, em tanque específico utilizando peneira de 80 *mesh* (0,177mm) e 200 *mesh* (0,074). O sedimento contido na peneira é recolhido e armazenado em cápsulas de porcelana que seguem para secar na estufa a 60°C (Figura 4).

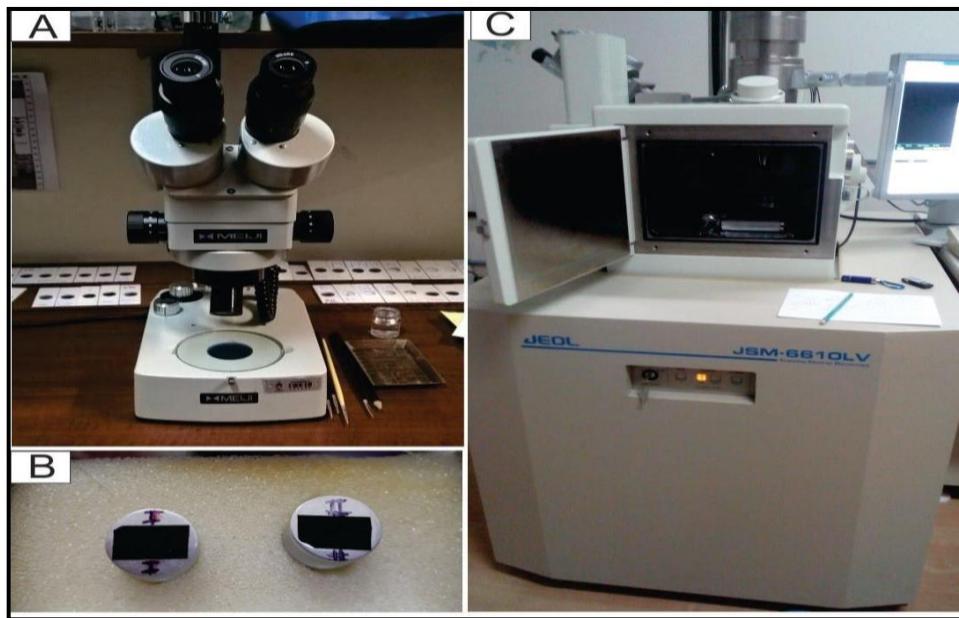
Figura 4. Etapas da metodologia de preparação de amostras para obtenção de conodontes. A) Amostras desagregadas fisicamente; B) Balde plástico onde amostras são armazenadas; C) Amostras com ácido acético, inseridas na capela de exaustão; D) Peneiras e baldes utilizados para a lavagem do material; E) Lavagem do material com despejo adequado; F) Armazenamento do material lavado em cápsulas de porcelana.



Depois de seca, a amostra é armazenada em recipientes específicos e analisada em uma bandeja, com pincel para catação, em estereomicroscópio, para catação dos conodontes. Outros bioclastos associados e fragmentos inorgânicos relevantes também são selecionados e todos os materiais coletados são acondicionados em células de catação. Os conodontes coletados são colocados em *stubs* e fotografados no MEV- Microscópio Eletrônico de Varredura (LGI/UFRGS) para obtenção de imagens retroespalhadas (Figura 5), a fim de realçar características diagnósticas importantes e assim realizar a classificação taxonômica. Os espécimes estudados são armazenados no repositório do Laboratório de Conodontes e Foraminíferos (LACONF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

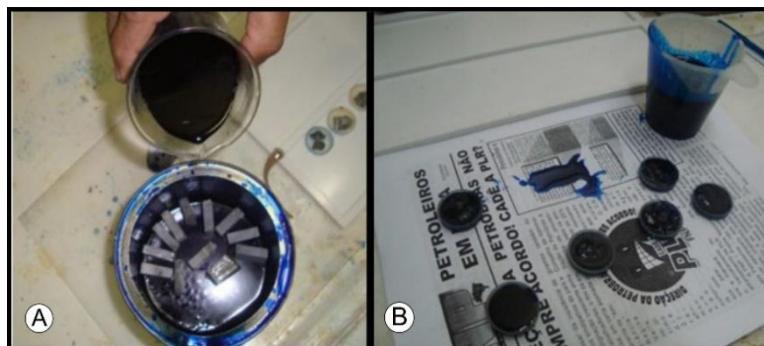
Figura 5. A) Estereomicroscópio utilizado para catação; B) *Stubs* onde são colocados os elementos conodontes; C) Microscópio eletrônico de varredura (Laboratório de Geologia Isotópica - LGI -UFRGS).

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA



Para o processamento das amostras de foraminíferos utiliza-se a metodologia padrão para confecção de seções delgadas de rochas carbonáticas que se encontra em rotina no Laboratório de Laminação do IGeo/UFRGS. No caso de amostras de mão, estas são reduzidas a um bloco de rocha com dimensões de cerca de 3,5 por 2,0 cm. A impregnação por resina de amostras de rocha total (blocos de rocha) se dá à vácuo enquanto as amostras provenientes de calha ou compostas por sedimentos dissociados são depositados sobre uma base para preparação de pastilhas (tampa plástica maleável), Figura 6.

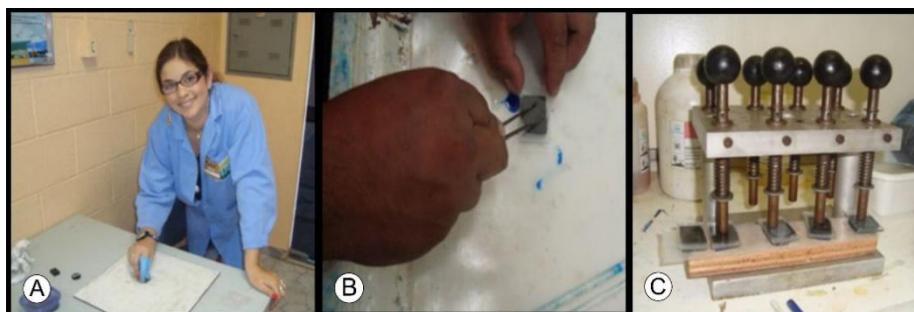
Figura 6. Etapas da metodologia para preparação de seções delgadas. A. Impregnação de amostras de rocha total; B. Impregnação dos fragmentos de rocha dissociados.



Na preparação das amostras para fixação em lâmina é realizado o alisamento e a total remoção da resina de impregnação da superfície a ser fixada na lâmina laboratorial por meio da utilização de lixas d'água [granulometrias de 600 (26,0 μ m) e 2.600 (6,6 μ m)],

finalizando-se com o abrasivo carbeto de silício, nas granulometrias entre 1000 (15,0 μm) e 3000 (4,0 μm), Figura 7. A colagem da seção delgada em lâmina ocorre através de resina transparente preparada com concentração mais espessa do que aquela utilizada para a impregnação, Figura 7.

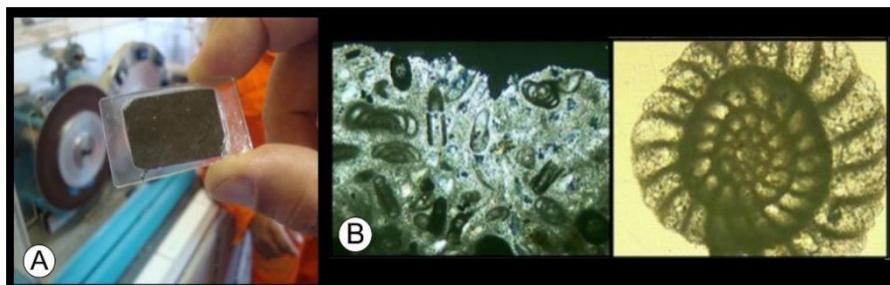
Figura 7. Etapas da metodologia para preparação de seções delgadas. A. Remoção da resina de impregnação da superfície a ser fixada na lâmina laboratorial; B e C. Colagem da seção delgada em lâmina laboratorial.



A etapa final consiste no rebaixamento (aplaínamento e afinamento) dos blocos de rocha e/ou pastilhas de resina utilizando-se de equipamento com serra apropriada e no desgaste do excesso de resina através da utilização de lixas d'água de granulometria mais fina [2600 (6,6 μm)], fazendo uso de óleo mineral, com atenção para evitar perda de grãos sedimentares e/ou microfósseis durante o processo de aplaínamento, Figura 8. Para o aplaínamento final e subsequente polimento é utilizado abrasivo carbeto de silício [granulometrias 320 (36,0 μm), 600 (26 μm), 1000 (15 μm) e 3000 (4,0 μm)], aplicado sobre placa de vidro ou cerâmica, incluindo o óleo mineral. As seções delgadas devem ser desgastadas até a exposição adequada das estruturas que as compõem, incluindo a exposição das câmaras internas das carapaças de foraminíferos bentônicos, processo que é realizado sob microscópio petrográfico, Figura 8.

Figura 8. Etapas da metodologia para preparação de seções delgadas. A. Etapa final da metodologia para preparação de seções delgadas: rebaixamento (aplaínamento e afinamento); B. Estágio de exposição adequada das estruturas morfológicas, com detalhe nas câmaras internas das carapaças de foraminíferos bentônicos.

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA



A identificação taxonômica e a documentação fotográfica de foraminíferos é realizada com auxílio de Microscópio Petrográfico Zeiss Axio Vison Imager M2m (Figura 9).

Figura 9. Microscópio Petrográfico Zeiss Axio Vison Imager M2m (Laboratório de Palinologia “Marleni Marques-Toigo” (LPPMMT/IGEO/UFRGS).



3 Geologia da área

A sedimentação palezoica da Bacia do Parnaíba é constituída em três supersequências: (i) Sequência Siluriana, representada pelo Grupo Serra Grande e as formações Ipu, Tianguá e Jaicós; (ii) Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, composta pelo Grupo Canindé e as formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti; e (iii) Sequência “Neocarbonífera/Eotriássica”, relativa ao Grupo Balsas e às formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (GÓES & FEIJÓ, 1994). O Grupo Balsas está disposto discordantemente sobre o Grupo Canindé com ausência no registro da sedimentação entre a Formação Poti, de idade mississipiana, e a Formação Piauí, de idade pennsilvaniana. Esse hiato deposicional situa-se na ordem de 7 a 15 Ma e é inferido com base em dados palinológicos e pela assembleia de conodontes descrita na Formação Piauí (SOUZA ET AL., 2010; MEDEIROS, 2020; DIAS, 2021).

Os depósitos sedimentares do Grupo Balsas representam um ciclo transgressivo-regressivo, desenvolvido sob condições de mar raso e restrito, com sedimentação controlada por condições de forte aridez, responsáveis pela deposição evaporítica e pela implantação de

desertos (GOÉS & FEIJÓ, 1994; ABRANTES ET AL., 2019). O paleoambiente desenvolvido nesta supersequência vai de clástico-evaporítico de mar raso (plataforma marinha evaporítica ligada a breves incursões) a um paleoambiente lacustre (MEDEIROS ET AL., 2019).

No nordeste da Bacia do Parnaíba, ao norte de Teresina, os depósitos calcários são interpretados como sedimentos de plataforma carbonática ou lagunar, retrabalhados em partes por ondas de tempestade. Essas camadas documentam um período de elevação do nível do mar e transgressão curta marginal, com o desenvolvimento de uma grande plataforma carbonática/evaporítica, originada no final da deposição da Formação Piauí (LIMA FILHO & ANELLI, 1997). Tais eventos transgressivos ligados a esse mar raso resultaram na construção de depósitos carbonáticos de plataforma, especialmente nas sucessões carbonáticas-siliciclásticas dos depósitos Mocambo da Formação Piauí (MEDEIROS ET AL. 2019). Estes carbonatos ocorrem na região de José de Freitas (PI) e se encaixam nesse contexto como o registro de uma pequena incursão marinha no continente Gondwana (MEDEIROS ET AL., 2019). São denominados “Mocambo” em alusão à localidade na qual são encontrados, sem nenhuma formalização litoestratigráfica. Em geral, o “Calcário Mocambo” tem sido relacionado às incursões marinhas concomitantes aos eventos de desertificação do final do Carbonífero (GÓES, 1995).

A Formação Piauí é dividida em membros inferior e superior. O Membro Inferior é caracterizado por condições deposicionais semi-áridas e é composto por arenitos avermelhados, intercalados de siltitos vermelhos e argilosos e não apresentam ocorrências fossilíferas. As sequências carbonáticas-siliciclásticas, relacionadas ao Membro Superior da Formação Piauí foram descritas em diversos afloramentos, no Estado do Piauí, entre os municípios de José de Freitas, Miguel Alves, Lagoa Alegre e Teresina. Os depósitos marinhos destacam-se pelo diversificado conteúdo fossilífero sendo foco de diversos estudos paleontológicos nas últimas décadas e onde estão as ocorrências de conodontes e foraminíferos aqui discutidos.

4 Resultados

CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979) identificaram conodontes e foraminíferos bentônicos nos calcários da Formação Piauí. A assembleia de conodontes inclui: *Idiognathodus magnificus*, *Idiognathodus delicatus*, *Cavusgnathus laetus*, *Cavusgnathus gigantus*, *Cavusgnathus* sp., *Ozarkodina delicatula*, *Gnathodus bassleri* e fragmentos atribuídos a Euprioniodina. Com relação aos foraminíferos bentônicos, foram

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

identificados 10 gêneros e 7 espécies de foraminíferos arenáceos obtidos do resíduo insolúvel de amostras: *Reophax* sp., *Tolypammina* sp. cf. *T. gersterensis*, *Tolypammina* sp., *Ammobaculites* sp., *Textularia* sp., *Ammovertella* sp., *Ammovertella inclusa*, *Ammovertella* sp. aff. *A. lisae*, *Sorosphaera* sp., *Sorosphaera?* *cooperensis*, *Glomospira ardculosa*, *Glomospira* sp., *Haplophragmoides* sp., *Hyperammina* sp. *Hyperammina* sp. cf. *H. sappintonensis*, *Hyperammina* sp. cf. *H. rockfordensis* e *Rhabdammina* (?) sp.; 7 gêneros e 1 espécie de foraminíferos calcáreos identificados, principalmente, em seções delgadas: *Orthovertella?* sp., *Earlandia* sp., *Globivalvulina bulloides*, *Endothyra* sp., *Climacammina* sp., *Endothyranella* sp., *Calcitornella* sp. A e *Calcitornella* sp. B.

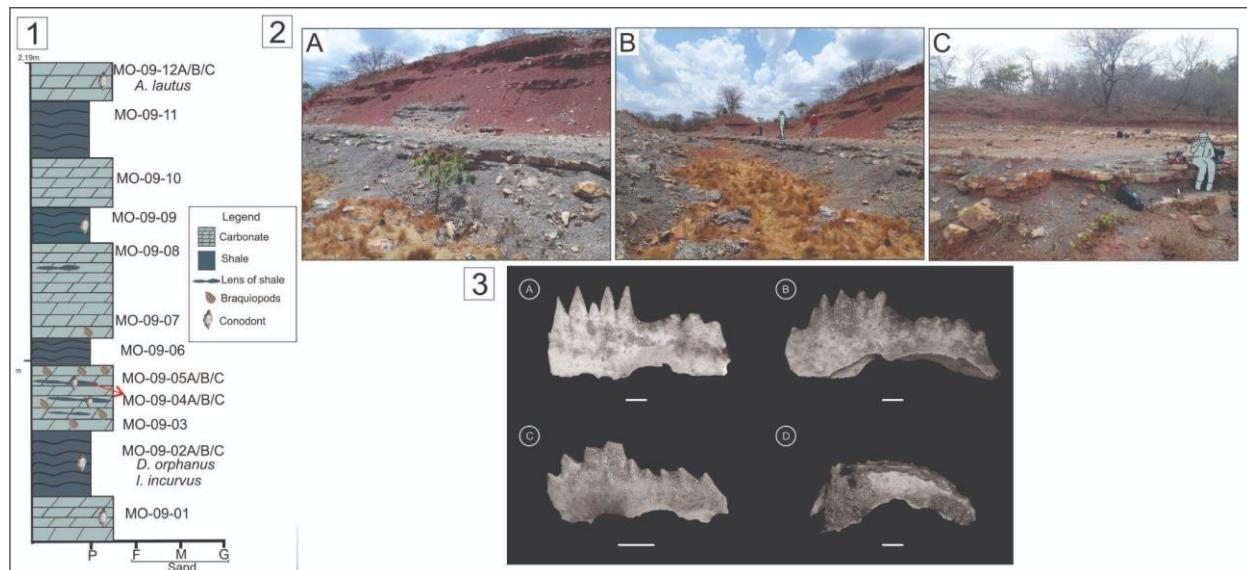
MEDEIROS (2020) estudou o Membro Superior da Formação Piauí, descreveu uma fauna de invertebrados marinhos, constituída por moluscos gastrópodes, cefalópodes e bivalves, braquiópodes, briozoários, trilobitas, equinodermas crinóides, ostracodes, escolecodontes, icnofósseis e esponjas associados à foraminíferos e conodontes *Neognathodus*, *Declinognathodus* e *Idiognathodus*.

DIAS (2021) deu prosseguimento a este trabalho refinando a bioestratigrafia e a paleoecologia dessa mesma sequência do Membro Superior da Formação Piauí, a partir da excursão realizada na região em 2019 (Figura 10). O estudo identificou uma fauna de conodontes composta por *Diplognathodus orphanus*, *Idiognathodus incurvus* e *Adetognathus laetus*, com ocorrência inédita de *Diplognathodus orphanus*, bem como uma revisão na nomenclatura dos taxóns de CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979) atualizando a assembleia para *Idiognathodus incurvus*, *Adetognathus laetus*, *Ellisonia conflexa* e *Idiopriionodus*.

Figura 10. Perfil litoestratigráfico do afloramento MO-09, Mineradora Icaraí. 2. A, B, C) Imagens do afloramento MO-09, Mineradora Icaraí. 3. Elementos conodontes coletados no Carbonato Mocambo, afloramento MO-09, Formação Piauí, Bacia do Parnaíba. A, B) *Diplognathodus orphanus*. Elementos adultos. MO-09-02C. C) *Diplognathodus*

orphanus. Elemento juvenil. MO-09-02C. D) *Idiognathodus incurvus* Dunn, 1966. Elemento adulto. MO-09-02C. (Modificado de DIAS, 2021).

MEDEIROS (2020) ao descrever a fauna de invertebrados marinhos do Calcário Mocambo observou a ocorrência de foraminíferos bentônicos, porém não realizou um estudo taxonômico aprofundado. A análise preliminar do conteúdo registrado em imagens de



microscopia petrográfica identifica diferentes níveis promissores para a ocorrência de foraminíferos bentônicos, formados por fácies carbonáticas bioclásticas e peloidais, assim como a ocorrência de espécimes de foraminíferos bentônicos em diferentes amostras. Estas ocorrências correspondem a formas que integram associações de foraminíferos em bacias coevas vizinhas, como as bacias do Amazonas e Solimões onde espécies importantes bioestratigraficamente se fazem presentes. Assim, sua ocorrência neste material proveniente da Formação Piauí gera uma perspectiva otimista quando se trata da realização de estudos mais aprofundados, através de uma análise criteriosa da coleção de MEDEIROS (2020), assim como nas amostras inéditas, a serem estudadas.

5 Discussões

Das unidades que compõem o Grupo Balsas, a Formação Piauí possui maior ocorrência espacial na bacia e é considerada de idade pensilvaniana com base na análise de palinomorfos em subsuperfície, por meio de poços estratigráficos e pela fauna de invertebrados marinhos registrada nos estratos do Calcário Mocambo, Membro Superior da Formação Piauí, composta predominantemente por moluscos gastrópodes, cefalópodes e bivalves, braquiópodes, briozoários, trilobitas, equinodermas crinoides, escolecodontes e

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

esponjas associados à foraminíferos, conodontes, fragmentos de peixe, fragmentos ósseos e vegetais, os quais indicam deposição em ambientes marinhos de água rasa (CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS, 1979; SOUZA ET AL., 2010).

Os primeiros estudos de conodontes da Bacia do Parnaíba foram realizados por CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS em sua publicação pioneira em 1979. Os conodontes são um grupo ainda pouco analisado na Bacia do Parnaíba, somente quarenta anos depois do trabalho de CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979) outras pesquisas foram apresentadas por MEDEIROS (2020) e DIAS (2021).

CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979) posicionaram os carbonatos marinhos da Formação Piauí, principalmente com base na ocorrência de conodontes e foraminíferos. Esses autores determinaram idade pensilvaniana inferior à média para os estratos do Calcário Mocambo.

MEDEIROS (2020), trabalhando com a sucessão sedimentar do Membro Superior da Formação Piauí, entre os Municípios de José de Freitas, União, Miguel Alves e Lagoa Alegre, identificou uma assembleia de conodontes de idade bashkiriana (Morrowano – Atokano) formada por *Declinognathodus noduliferus*, que ocorre no Bashkiriano; *Neognathodus medexultimus*, cuja ocorrência vai do Bashkiriano superior ao Kasimoviano e *Idiognathodus incurvus*, considerado como marcador do Bashkiriano superior ao Moscoviano inferior (Atokano médio) para a América do Norte. Essa associação de conodontes ocorre em uma fácie de plataforma carbonática na Bacia do Parnaíba e constitui o registro mais oriental da influência do paleooceano Pantalassa, Pensilvaniano, conforme mencionado por MEDEIROS ET AL. (2019).

DIAS (2021), visando à prospecção de conodontes nos carbonatos da Formação Piauí, no município de José de Freitas, trouxe dados taxonômicos inéditos com a primeira ocorrência de *Diplognathodus orphanus* no Calcário Mocambo. *Diplognathodus* é um excelente marcador bioestratigráfico do Pensilvaniano Médio, especialmente *D. orphanus*, que ocorre apenas no Bashkiriano superior.

A ocorrência desse táxon, a revisão dos táxons *Neognathodus bassleri*, *Idiognathodus incurvus* e *Adetognathus laetus*, do trabalho de CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979), juntamente com megásporos, ostracodes, foraminíferos bentônicos e dentes de peixe encontrados em DIAS (2021), permitiu refinar a idade desses carbonatos marinhos para o Bashkiriano superior (Atokano médio) e corroborar um paleoambiente de plataforma marinha rasa para essa sucessão sedimentar.

Até o momento o único trabalho sobre os foraminíferos bentônicos da Formação Piauí foi publicado por CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979), por meio de estudos taxonômicos, trouxeram a primeira contribuição e preliminarmente apontaram a ocorrência de uma diversificada fauna de macroinvertebrados marinhos. À luz do conhecimento mais recente sobre os foraminíferos bentônicos, dentre as espécies e gêneros observados pelos autores em lâmina delgada, *Globivalvulina bulloides* e *Endothyranella* sp. são formas potencialmente úteis para aplicação biocronoestratigráfica. A primeira como marcadora da base do Bashkiriano inferior (Morrowano superior) e a segunda, como marcadora do topo do Moscoviano inferior (Atokano superior). São táxons que em associação com outras espécies de foraminíferos bentônicos, especialmente fusulinídeos, apresentam potencial de geração de dados biocronoestratigráficos de alta resolução abaixo de 2 milhões de anos, conforme observado em publicações geradas por especialistas no tema em diferentes bacias coervas e mundialmente distribuídas e aplicado no esquema zonal de ALTINER & SAVINI (1995) revisado e convertido segundo a codificação de zonas FS da PETROBRÁS S.A.

Os foraminíferos arenáceos e calcários identificados por CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979) foram comparados a espécies de assembleias mississipianas e pensilvanianas, particularmente da Província Tetiana. Segundo os autores, das espécies identificadas, somente *Glomospira articulosa* e *Orthovertella* sp., cujas amplitudes conhecidas abrangem do Pensilvaniano ao Permiano, ofereceram evidência para o posicionamento da idade da assembleia. Com base em correlações com a microfauna de conodontes observada, os autores definiram uma idade pensilvana (Bashkiriano ao Moscoviano inferior) para os depósitos estudados. Contudo, o trabalho não apresenta estampas ou qualquer forma de representação ilustrativa dos espécimes identificados, o que prejudica uma análise crítica da classificação taxonômica realizada. Além disso, a metodologia aplicada por CAMPANHA & ROCHA-CAMPOS (1979) para o estudo dos foraminíferos arenáceos não é a mais indicada para fins de análise taxonômica, uma vez que as estruturas morfológicas diagnósticas são observáveis em cortes, através do estudo em lâmina delgada. Assim, este grupo de microfósseis carece sobremaneira de um estudo aprofundado para fins biocronoestratigráficos.

Além disso, a análise dos trabalhos paleontológicos previamente registrados na Bacia do Parnaíba mostrou a necessidade de reavaliação e interpretação do significado biocronoestratigráfico das ocorrências, com ausência, em muitos dos casos, de controle estratigráfico das amostras contendo fósseis publicados.

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

A interpretação biocronoestratigráfica preliminar, baseada em conodontes e foraminíferos sugere novos posicionamentos geocronológicos para as unidades do Grupo Balsas, diferentemente do que está apresentado nas cartas estratigráficas mais recentes (e.g., VAZ ET AL., 2007). Desta forma, à medida que forem gerados novos dados baseados em conodontes e foraminíferos bentônicos, a partir da amostragem tanto de campo quanto de subsuperfície, dados mais refinados poderão vir a contribuir na construção de uma nova carta geocronológica para o Grupo Balsas.

6 Considerações finais

Acumulações de rochas carbonáticas são registradas em várias regiões do mundo e estão geralmente associadas à instalação de mares epicontinentais. Na América do Sul durante o intervalo Carbonífero-Permiano, enquanto a porção sul do Pangeia experimentava condições climáticas mais frias à glaciais, a porção mais tropical deste supercontinente estava sob condições de clima mais quente. Neste período, a Bacia do Parnaíba registrou a presença de um mar epicontinental que desaguava no Oceano Panthalassa. Os eventos transgressivos ligados a esse mar epicontinental resultaram na construção de depósitos carbonáticos transgressivos da Bacia do Parnaíba, especialmente nas sucessões carbonáticas-siliciclásticas dos depósitos da Formação Piauí onde é encontrada uma rica fauna fóssil que inclui os conodontes e foraminíferos.

O foco dos trabalhos micropaleontológicos concentra-se na seção de idade pensilvaniana da Bacia do Parnaíba, sendo os que resultados apresentados neste trabalho referem-se a esse intervalo estratigráfico, constituído pelas rochas sedimentares da Formação Piauí onde são encontrados os conodontes e foraminíferos bentônicos.

O volume e a qualidade do material coletado nos trabalhos de campo realizados em 2019 e 2021, visando a prospecção paleontológica com controle estratigráfico de alta resolução, mostram-se promissores para aplicação biocronoestratigráfica. Os resultados destas análises paleontológicas (taxonomia, interpretações bioestratigráficas e de paleoambiente e biozonamento estratigráfico das seções estudadas), minuciosamente amarradas às informações sedimentológicas e estratigráficas levantadas durante os trabalhos de campo, serão extremamente importantes para o refinamento bioestratigráfico e a caracterização paleoambiental/paleoecológica dos estratos da Formação Piauí.

Referências bibliográficas

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.224 – 241, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748.

Sara Nascimento, Sanmya Karolyne Rodrigues Dias, Luciane Profs Moutinho, Ana Karina Scomazzon

ABRANTES, Francisco Romério, NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues, ANDRADE, Luiz Saturnino, BANDEIRA, José, SOARES, Joelson Lima., MEDEIROS, Renato Sol Paiva. Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangaea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin, Northern Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 93, p. 294–312, 2019.

ALDRIDGE, Richard John, BRIGGS, Derek Ernest Gilmor, SMITH, March Paul, CLARKSON, Euan, CLARK, Neil. **The anatomy of conodonts**. Philosophical Transaction of Royal Society of London, v. 340, p 405–421, 1993.

ALTINER, Demir. & SAVINI, Ricardo. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões basins (North Brazil). **Revue de Paléobiologie**, v. 4, n. 2, p. 417-453, 1995.

ANTUNES, Rogério Loureiro & MELO, José Henrique Gonçalves. Micropaleontologia e estratigrafia de sequências. In: Ribeiro, H.J.P.S. (ed.). **Estratigrafia de sequências – Fundamentos e aplicações**. Editora Unisinos, São Leopoldo, p. 137-218, 2001.

DIAS, Sanmya Karolyne Rodrigues. **Bioestratigrafia e paleoecologia dos depósitos marinhos pensilvanianos da Formação Piauí a partir de novas ocorrências de conodontes**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 62, 2021.

CAMPANHA, Vilma Alves & ROCHA-CAMPOS, Antônio Carlos. Alguns microfosseis da formação Piauí (neocarbonífero), Bacia do Parnaíba. **Bol. IG**, v. 10, p. 57, 1979.

GÓES, Ádison & FEIJÓ, Flávio Juaréz. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-68, jan./mar. 1994.

GÓES, Ana Maria. 1995. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 172, 1995.

LEMOS, Valesca Brasil, MEDEIROS, Rodi Ávila. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com base em conodontes. **Bol. Geociências Petrobras**, v.10, p. 165–173, 1996.

LIMA FILHO, Francisco Pinheiro & ANELLI, Luiz Eduardo. Contribution to the Late Paleozoic stratigraphy of the Parnaíba basin. **Newsletter on Carboniferous Stratigraphy, IUGS Subcommission on Carboniferous Stratigraphy**, v. 15, p. 36-37, 1997.

MEDEIROS, Renato Sol Paiva. **O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, Norte do Brasil: Implicações Paleoambientais, Paleogeográficas e Evolutivas para o Gondwana Ocidental**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p. 151, 2020.

MEDEIROS, Renato Sol Paiva, NOGUEIRA Afonso Cesar Rodrigues, SILVA JUNIOR José Bandeira Cavalcante & SIAL, Alcides Nóbrega. Carbonate-clastic sedimentation in the Parnaíba Basin, northern Brazil: Record of carboniferous epeiric sea in the Western Gondwana. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 91, p. 188–202, 2019.

PURNELL, Mark Andrew. Microwear on conodont elements and macrophagy in the first vertebrates. **Nature**, v. 374, p. 798–800, 1995.

OCORRÊNCIA DE CONODONTES E FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS NO BASHKIRIANO DA FORMAÇÃO PIAUÍ, GRUPO BALSAS, BACIA DO PARNAÍBA

SCOMAZZON, Ana Karina, MOUTINHO, Luciane Profs, NASCIMENTO, Sara, LEMOS, Valesca Brasil & MATSUDA, Nilo Siguehiko. Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group, Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 65, p. 25-42, 2016.

SOUZA, Paulo Alves de, MATZEMBACHER, Lucas Thetinsk, ABELHA, Marina & BORGHI, Leonardo. Palinologia da Formação Piauí, Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba: Biocronoestratigrafia de intervalo selecionado do poço 1-UN-09-PI (Caixas, MA, Brasil). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 13, n. 1, p. 57-66, 2010.

VAZ, Pekim Tenório, REZENDE, Nélio das Graças de Andrade da Mata, WANDERLEY FILHO, Joaquim Ribeiro & TRAVASSOS, Walter Antonio Silva. A Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 253–263, 2007.

WILNER, Everton, LEMOS, Valesca Brasil & SCOMAZZON, Ana Karina. Associações naturais de conodontes *Mesogondolella* spp, Grupo Itararé, Cisuraliano da Bacia do Paraná. **GAEA Journal of Geosciences**, v. 9, n. 1, p. 30-36, 2016.

ZERFASS, Geise de Santana dos Anjos & ANDRADE, Edilma de Jesus. Foraminíferos e Bioestratigrafia: uma abordagem didática. **TERRÆ DIDATICA**, v. 3, n. 1, p. 18-35, 2018.

Agradecimentos¹

¹ Os autores agradecem às instituições convenentes do projeto BIOCRONORTE: PETROBRAS (Processo Sigitec 2018/00541-5), FAURGS (8391-3), UFPA, UFPE, UFRGS (Interação Acadêmica 000803), USP, ANP (21561-6); aos pesquisadores da Universidade Federal do Piauí (campus Teresina e Floriano) que apoiam a expedição. PAS (313340/2018-8), ACRN (307484/2018-0) e JCM (309519/2018-7) são bolsistas do CNPq.



OS MICROFÓSSEIS E A HISTÓRIA DA BACIA DO PARNAÍBA DURANTE O PENNISILVANIANO E O PERMIANO: IDADES E AMBIENTES SEDIMENTARES REVELADOS PELOS PALINOMORFOS

**Microfossils and the history of the Parnaíba Basin during the Pennsylvanian and the
Permian: ages and sedimentary environments revealed by the palynomorphs**

**Cristina Moreira Félix¹, Daiana Rockenbach Boardman², Eduardo Premaor³, Edvaldo
José Oliveira⁴, Rafael Reis Bender⁵, Ana Karina Scomazzon⁶, Paulo Alves de Souza⁷**

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul; cmfelixrs@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6865-7437

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul; daiana.boardman@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3140-9979

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul; eduardopremaor@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8977-8083

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul; contato.oedvaldo@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3730-8511

⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul; rafael.reisbender@yahoo.de; ORCID: 0000-0002-7939-9987

⁶Universidade Federal do Rio Grande do Sul; akscomazzon@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2189-2664

⁷Universidade Federal do Rio Grande do Sul; paulo.alves.souza@ufrgs.br; ORCID: 0000-0001-9844-1530

RESUMO: Microfósseis de parede orgânica (palinomorfos) são ferramentas de grande valor para as Geociências, permitindo correlações a longas distâncias, assim como datações relativas de estratos rochosos, de natureza marinha ou continental. Embora dados palinológicos ainda sejam relativamente escassos para a Bacia do Parnaíba, as poucas contribuições se mostraram úteis para fins de interpretação paleoambiental, correlação e datações relativas em determinados materiais de subsuperfície, recuperados por meio de perfurações. Este artigo apresenta uma revisão detalhada das publicações sobre a palinologia do Grupo Balsas, abordando o significado bioestratigráfico e paleoecológico, bem como as implicações cronoestratigráficas. Os trabalhos palinológicos realizados até o momento na Bacia do Parnaíba indicam idade de 315,2 - 307,0 milhões de anos (Pennsilvaniano) para os níveis estudados da Formação Piauí, e 290,1 - 266,9 milhões de anos (Cisuraliano médio ao Lopingiano) para os níveis analisados da Formação Pedra de Fogo. Em termos de paleoambiente, o registro palinológico indica uma deposição em corpos d'água salinos com aumento da aridez ao final da Formação Piauí e estabelecimento de um clima quente e árido nos depósitos da Formação Pedra de Fogo. Estudos em andamento e perspectivas para o futuro das pesquisas palinológicas na bacia são discutidos.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba. Grupo Balsas. Palinologia.

ABSTRACT: Organic walled microfossils (palynomorphs) are tools of great value for the geosciences, allowing long distance correlations as well as relative dating of rock strata of both marine and continental nature. Although palynological data are still scarce for the Parnaíba Basin, the few available contributions have proven useful for the purposes of paleoenvironmental interpretation, correlation and relative dating on certain subsurface materials, recovered by drilling. This paper presents a detailed review of the publications about the palynology of the Balsas Group, including their biostratigraphic and paleoecologic significance as well as their chronostratigraphic implications. Thus far, palynological works

carried out in the Parnaíba Basin indicate an age of 315.2 – 307.0 million years (Pennsylvanian) for the studied strata of the Piauí Formation and 290.1 – 266.9 million years (middle Cisuralian to Lopingian) for the analyzed strata of the Pedra de Fogo Formation. With regard to paleoenvironments, the palynological record points to a deposition in saline water bodies with increasing aridity at the end of the Piauí Formation and the establishment of a warm and arid climate in the deposits of the Pedra de Fogo Formation. Ongoing studies and perspectives for future palynological research within the basin are discussed.

Keywords: Parnaíba Basin. Balsas Group. Palynology.

1 Introdução

Palinomorfos são microfósseis de parede orgânica, de dimensões reduzidas (geralmente menores que 200 µm), relativos a organismos de natureza variada, comumente recuperados a partir de rochas sedimentares, em significativas quantidades. Esta área da micropaleontologia compreende uma grande diversidade de grupos biológicos, incluindo partes de vegetais (esporomorfos: esporos e grãos de pólen), de fungos (hifas e esporos), de protistas (cistos de dinoflagelados, algas clorófitas e foraminíferos de parede orgânica) e partes de alguns grupos animais (escolecodontes), além de organismos de afinidade biológica ainda duvidosa (*incertae sedis*, como os acritarcos) (TRAVERSE, 2007). Tal como na atualidade, todos esses organismos compunham parte dos ecossistemas pretéritos, sendo depositados em ambientes sedimentares subaquosos, sejam continentais (turfas, lagos, estuários, rios), sejam marinhos. Até a incorporação nos sedimentos, a história do transporte de cada palinomorfo é particular. Esporos e grãos de pólen, por exemplo, são partes do sistema reprodutivo de plantas terrestres; são transportados via aérea, por gravidade ou por cursos d’água até atingir um sítio deposicional, onde se acumulam, fazendo parte dos constituintes das rochas sedimentares. Outros palinomorfos, tais como os cistos algálicos, compõem o micoplâncton dos ambientes aquáticos, livres na coluna d’água, vindo a decantar no substrato após o encerramento de seu ciclo de vida. Neste caso, tal como no exemplo anterior, passam a fazer parte dos constituintes dos sedimentos e das rochas sedimentares.

Cada palinomorfo recuperado nas rochas sedimentares revela informações valiosas sobre as variáveis paleoecológicas, paleoambientais e paleoclimáticas dos ecossistemas que faziam parte, tais como as condições de temperatura, de umidade, profundidade da lâmina d’água, dentre outras.

A **Palinologia** constitui uma das metodologias aplicadas no âmbito do “Projeto BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões” que constitui um termo de cooperação entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRÁS), a Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS), e Agência Nacional do Petróleo (ANP), vigente entre 2019 e 2023. Corresponde ao ramo da micropaleontologia que se ocupa do estudo de microfósseis de parede orgânica, denominados “palinomorfos”.

Tamanha diversidade taxonômica reflete na relevância e abrangência dos palinomorfos recuperados de rochas dos mais diversos ambientes sedimentares, sejam marinhos, transicionais ou continentais. Neste sentido, os esporomorfos, representados por grãos de pólen e esporos de plantas terrestres, assumem particular importância. Além da

abundância, alta capacidade de preservação e fácil identificação, apresentam ampla dispersão, atuando como partículas sedimentares nos ambientes deposicionais. (SEYVE, 1990). Essa particularidade permite correlacionar rochas de origem continental com as de origem marinha, suprindo uma deficiência de grupos fósseis como os conodontes e foraminíferos, por exemplo, que embora apresentem altas taxas evolutivas, estão limitados às fácies marinhas.

Associações compostas por esporos, grão de pólen e algas continentais refletem as condições paleoecológicas e paleoambientais de determinados nichos continentais. Por outro lado, associações dominadas por acritarcos (cistos algálicos indeterminados) e algas prasinófíceas indicam as condições de sedimentação marinha dos depósitos onde ocorrem, mesmo que esporos e poucos grãos de pólen estejam presentes, oriundos do ambiente terrestre. Tais interpretações são integradas com outras, advindas dos demais fósseis ocorrentes e das características sedimentares e estratigráficas relacionadas. Por esses motivos, os palinomorfos são muito utilizados no entendimento da evolução das bacias sedimentares.

Para uma análise palinológica, as rochas mais propensas à recuperação de palinomorfos são as de granulometria fina, ricas em matéria orgânica (pelitos e siltitos escuros), principalmente as formadas em ambientes redutores/não oxidantes. Cerca de 20 g são necessários para a recuperação destes microfósseis. Após a coleta, os procedimentos laboratoriais envolvem a maceração (desagregação física) e a dissolução de amostras de rocha com o uso de ácido fluorídrico e clorídrico, de modo a remover a matriz mineral, concentrando as partículas orgânicas (QUADROS & MELO, 1987). Consequentemente, o que resta após estes procedimentos é o resíduo palinológico, contendo os palinomorfos e mais outros tipos de matéria orgânica (fitoclastos e matéria orgânica amorfa). Com poucas gotas deste resíduo são montadas lâminas palinológicas, concernentes a cada nível estratigráfico amostrado. A análise das associações palinológicas é efetuada por meio de microscopia óptica de luz branca, embora certos palinomorfos translúcidos sejam observados melhor sob luz fluorescente. Para a identificação dos tipos de microfósseis presentes, utiliza-se uma vasta bibliografia especializada para descrição e comparação dos espécimes. À exceção de formas recentes, de afinidade biológica conhecida, a identificação e a classificação de palinomorfos paleozoicos são baseadas em critérios morfológicos (morfotaxonomia), uma vez que critérios filogenéticos são de difícil aplicação (TRaverse, 2007).

Este trabalho tem por objetivo apresentar o atual conhecimento sobre a palinologia do intervalo pensilvaniano-permiano da Bacia do Parnaíba, com uma análise crítica sobre os dados palinológicos publicados até o momento. Além disto, apresenta as pesquisas em andamento, cuja amostragem implica na ampliação do conhecimento sobre os elementos florísticos (relacionados às plantas mães dos esporos e grãos de pólen ocorrentes) e representantes marinhos (cistos de algas e outros elementos afins) que faziam parte dos ecossistemas desta parte do território brasileiro durante o Pensilvaniano e o Permiano.

2 Revisão dos estudos palinológicos do Pensilvaniano e Permiano da Bacia do Parnaíba

A Bioestratigrafia é um dos métodos da estratigrafia que aborda a distribuição dos fósseis no registro geológico e a organização dos estratos em unidades com base no conteúdo fóssil presente (MURPHY & SALVADOR, 1999). A Bioestratigrafia busca caracterizar as rochas a partir do seu conteúdo fossilífero, dividindo-as em pacotes de rochas similares entre si que permitem estabelecer correlações. Essas correlações podem se dar entre dois ou mais pontos, sejam eles locais, regionais dentro da mesma bacia sedimentar e, até mesmo, entre

bacias diferentes. As unidades bioestratigráficas são denominadas biozonas (ou zonas) que podem ser divididas em subzonas ou agrupadas em superzonas (PETRI *et al.*, 1986, MURPHY & SALVADOR, 1999) e são definidas, exclusivamente, pelo seu conteúdo fossilífero independentemente do tipo de rocha, paleoambiente e intervalo de tempo que sejam abrangidos por elas.

No Brasil, os palinomorfos têm sido amplamente empregados para fins bioestratigráficos desde a década de 1970, com a proposição de zoneamentos (DAEMON & QUADROS, 1970; PLAYFORD & DINO, 2000a, 2000b; SOUZA, 2006), desempenhando um papel imprescindível na caracterização do arcabouço cronoestratigráfico das bacias sedimentares paleozoicas e na compreensão de sua evolução geológica, uma vez que oportunizam datações relativas e correlações de distintos estratos rochosos.

Na Bacia do Parnaíba, mesmo com variados trabalhos palinológicos realizados para os depósitos pennsilvanianos e permianos (MÜLLER, 1962; CRUZ *et al.*, 1973; LEITE *et al.*, 1975; BHARADWAJ *et al.*, 1976; MELO *et al.*, 1998; DINO & PLAYFORD, 2002; DINO *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2010; BETELLA, 2019) não há, até o momento, um zoneamento estabelecido. Esses trabalhos, quando não se tratam de relatórios internos e restritos, são geralmente pontuais, envolvendo poucas seções estratigráficas, o que limita os posicionamentos cronoestratigráficos das unidades sobre as quais versam. Alguns poucos níveis foram datados pelas ocorrências destes microfósseis.

O primeiro estudo de cunho bioestratigráfico realizado em uma bacia terrestre brasileira foi proposto para a Bacia do Parnaíba. Na década de 1960, o paleontólogo alemão Helmut Müller, também conhecido como "O Senhor Vegetal", esteve no Brasil estudando os palinomorfos da bacia (informação verbal L.P. QUADROS, 2021). A escolha desta bacia como pioneira em estudos palinoestratigráficos se deu pela melhor preservação de palinomorfos de idade devoniana. De acordo com Quadros (2011), o renomado paleontólogo ainda ministrou um curso de palinologia no distrito da Petrobras em Salvador, tendo como um de seus alunos o geólogo Roberto Ferreira Daemon, que viria a ser um dos autores nos zoneamentos palinológicos das bacias do Paraná (DAEMON & QUADROS, 1970) e Amazonas (DAEMON & CONTREIRAS, 1971), na década de 1970.

Para a Formação Piauí, MÜLLER (1962) estabeleceu três zonas palinológicas, a saber, K, L e M, para as quais atribuiu idade pennsilvaniana. Para a Formação Pedra de Fogo, foram estabelecidas as palinozonas I e J, interpretadas como de idade permiana. Embora seja um trabalho pioneiro, a utilização desse esquema bioestratigráfico permaneceu limitada, por se tratar de documento de acesso restrito.

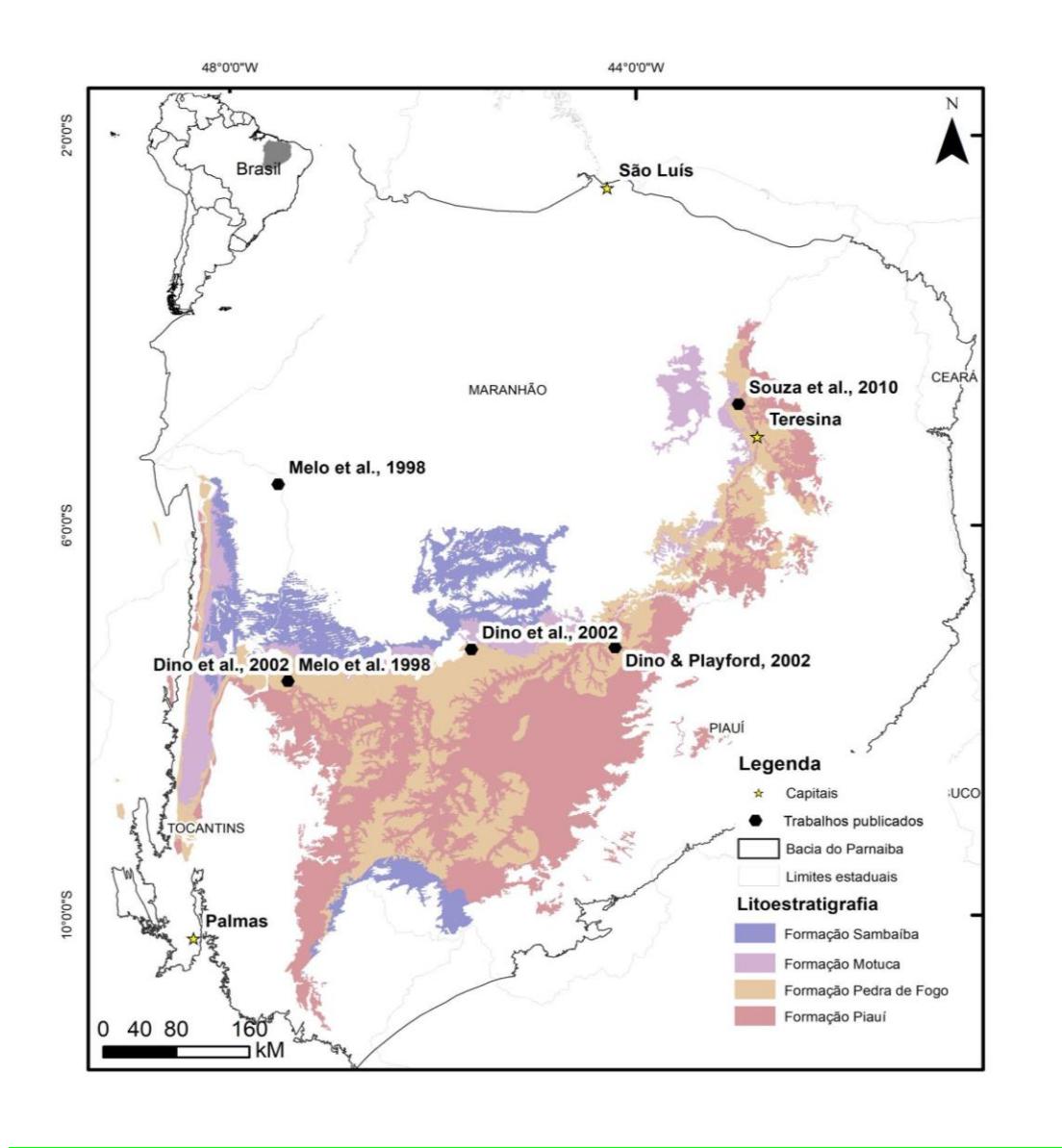
Na década de 1970, com a necessidade de sistematizar as análises referentes às pesquisas de carvão na Bacia do Parnaíba, um novo esquema palinoestratigráfico foi proposto, com maior detalhamento da seção devoniana-mississipiana (LEITE *et al.*, 1975). CRUZ *et al.* (1973 *in* LEITE *et al.*, 1975) analisou 23 amostras da Formação Piauí e posicionou os estratos no Pennsilvaniano.

A partir do estudo de 12 amostras provenientes de afloramentos das bacias do Paraná e Parnaíba, BHARADWAJ *et al.* (1976) registraram a ocorrência de quatro assembleias de esporomorfos na Bacia do Paraná (A, B, C, e D) e três na Bacia do Parnaíba (A, B e C). As zonas foram correlacionadas entre si, com a proposição de seis intervalos bioestratigráficos distintos, alguns dos quais comuns em ambas as bacias. Do mais antigo para o mais jovem, receberam designação numérica de 1 a 6. Embora com alta diversidade específica, os problemas na utilização deste zoneamento são inúmeros, devido, principalmente, à pouca representatividade da amostragem em termos litoestratigráficos, irregularmente distribuída nas duas bacias.

MELO *et al.* (1998) realizaram novas contribuições acerca da palinologia do intervalo compreendido entre o Devoniano e o Carbonífero das bacias sedimentares

paleozoicas situadas no norte do Brasil. Foram analisados os poços 1-CL-1-MA e 2-IZ-1-MA, localizados na porção oeste da Bacia do Parnaíba (Figura 1). Os autores apontam que a ocorrência dos gêneros *Vittatina* e *Cheiledonites* se dá na porção superior da Formação Piauí. Por comparação com zonas do continente europeu, MELO *et al.* (1998) sugerem idade kasimoviana para o intervalo estudado, porém não descartam uma idade moscoviana ou mesmo gzheliana inicial.

Figura 1: Mapa de Bacia com Parnaíba ressaltando as unidades geológicas do Grupo Balsas, com destaque para a localização da amostragem trabalhos de cunho palinológico já realizados na bacia.



DINO & PLAYFORD (2002) analisaram uma seção do poço 1-UN-23-PI, localizado na porção centro sul da Bacia do Parnaíba próximo ao município de Floriano, no estado do Piauí (Figura 1), com recuperação de palinomorfos em apenas uma amostra (profundidade de 145 m). A associação palinológica encontrada compõe-se predominantemente de esporos triletes (45%) e grãos de pólen monossacados de gimnosperma (45%); grãos de pólen bissacados teniados são menos representativos (7%). Algas como *Botryococcus* e *Brazilea* também foram identificadas. Os autores inferem similaridade da associação encontrada, principalmente pelo registro de *Cristatisporites*, *Vallatisporites*, *Spelaeotriletes*, *Striatosporites heyleri*, *Raistrickia cephalata* e *Illinites unicus* com a Zona *Illinites unicus* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b). Tal posicionamento confere idade moscoviana inferior para a amostra analisada da Formação Piauí, principalmente pela presença de *I. unicus*, *S. heyleri* e *R. cephalata*. Os autores sugeriram condições paleoclimáticas áridas.

DINO *et al.* (2002) apresentaram dados dos poços 1-CL-1-MA, perfurados no município de Carolina, e 1-MS-1-MA, município de Mangabeiras, ambos no estado do Maranhão (Figura 1). Foram analisadas dez amostras, das quais cinco se revelaram férteis, estratigraficamente referentes ao Membro Trisdela da Formação Pedra do Fogo. As associações identificadas são dominadas por grãos de pólen bissacados e teniados (52%), bissacados não teniados (8%), monossacados (15%) e esporos triletes (25%), especialmente os gêneros *Punctatisporites* e *Verrucosporites*; acritarcos e cistos algálicos são raros.

A associação palinológica descrita em DINO *et al.* (2002) representou a mais jovem até então registrada no Paleozoico da Bacia do Parnaíba e permitiu relacionar os níveis analisados com o intervalo I do zoneamento proposto por MÜLLER (1962). A presença de *Tornopollenites toreutus* e *Hamiapollenites karrooensis* indicou correlação com a Zona *Tornopollenites toreutus* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b), interpretada como correspondente ao Guadalupiano médio ao Lopingiano. O registro do gênero *Vittatina*, representado pelas espécies *V. costabilis*, *V. saccata* e *V. subsaccata*, associada a *Lueckisporites virkkiae*, *Corisaccites alutas*, *Hamiapollenites karrooensis*, *Rhizomaspora radiata* e *T. toreutus*, conferiu aos estratos analisados por DINO *et al.* (2002) uma idade não mais antiga que o Sakmariano. Para os autores, a porção analisada teve influência marinha, representada por raros acritarcos que ocorrem junto a cistos algálicos característicos de água doce como *Botryococcus braunii*. O domínio de grãos de pólen teniados integrado às características sedimentares e estratigráficas dos depósitos indicou clima quente, árido a semiárido.

SOUZA *et al.* (2010) analisaram 12 níveis do poço 1-UN-09, perfurado no município de Caxias, Maranhão (Figura 1), resultando em associações palinológicas férteis relativas à Formação Piauí. Grãos de pólen sacados são predominantes, especialmente bissacados teniados e monossacados não teniados. A ocorrência de esporos é subordinada; representantes relacionados ao microplâncton marinho (*Leiosphaeridida* spp.) foram também observados. Ao todo, foram identificados 29 táxons, considerando esporos (28%), grãos de pólen (66%) e algas (6%).

A correlação indicada por SOUZA *et al.* (2010) quanto ao zoneamento da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b) é com a Zona *Raistrickia cephalata*, devido à ocorrência de espécies que limitam a base e o topo desta zona no material estudado. Espécies como *Apiculatasporites daemonii*, *Spealeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Potonieisporites congoensis*, *Protohaploxylinus amplus* e *Striomonosaccites incrassatus* delimitam o topo dessa zona. Os táxons *Raistrickia cephalata*, *Verticipollenites* sp., *Striatopodocarpites* sp. e *Lunatisporites onerosus*, presentes na assembleia palinológica analisada, são restritos à zona sugerida. Tal posicionamento indica idade moscoviana superior para a seção.

BETELLA (2019) reprocessou os mesmos 12 níveis analisados no trabalho de SOUZA *et al.* (2010) do poço 1-UN-09-PI (Figura 1). Ao todo, 62 táxons foram encontrados, denotando o primeiro registro na bacia de espécies tais como *Distriatites insolitus*, *Endosporites globiformes*, *Potonieisporites barrelis*, *P. congoensis*, *P. lelei*, *Caheniasaccites verrucosus*, *Crucisaccites monoletus*, *Plicatipollenites densus*, *Cannanoropolis mehta*, *Mabuitasaccites crucistriatus* e *Limitisporites amazonenses*. A correlação com o zoneamento da Bacia do Amazonas corrobora o posicionamento na Zona *Raistrickia cephalata* (PLAYFORD & DINO, 2000a; 2000b) proposto por SOUZA *et al.* (2010). A interpretação paleoambiental permitiu a inferência de ambiente plataformal raso, evoluindo para planícies de maré e *sabkhas*, configurando um aumento na aridez na porção superior do intervalo estudado da Formação Piauí.

3 Resultados

3.1 Análise bioestratigráfica

Estudos palinológicos realizados nas unidades do Grupo Balsas ainda são muito escassos e as informações são provenientes de determinados intervalos estratigráficos da Formação Piauí apresentados por DINO & PLAYFORD (2002) e SOUZA *et al.* (2010). DINO & PLAYFORD (2002) documentaram associações de táxons característicos da Zona *Illinites unicus* da Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO 2000a; 2000b), como *Illinites unicus*, *Cristatisporites*, *Vallatisporites* e *Spelaeotriletes*, além de *Striatosporites heyleri*. SOUZA *et al.* (2010) obtiveram assembleias diversificadas de palinomorfos atribuídas à Zona *Raistrickia cephalata* de PLAYFORD & DINO (2000b), em virtude do registro da espécie epônima, além de *Verticipollenites* sp. A, *Striatopodocarpites* sp. A e *Lunatisporites onerosus*, posicionamento bioestratigráfico corroborado por BETELLA (2019).

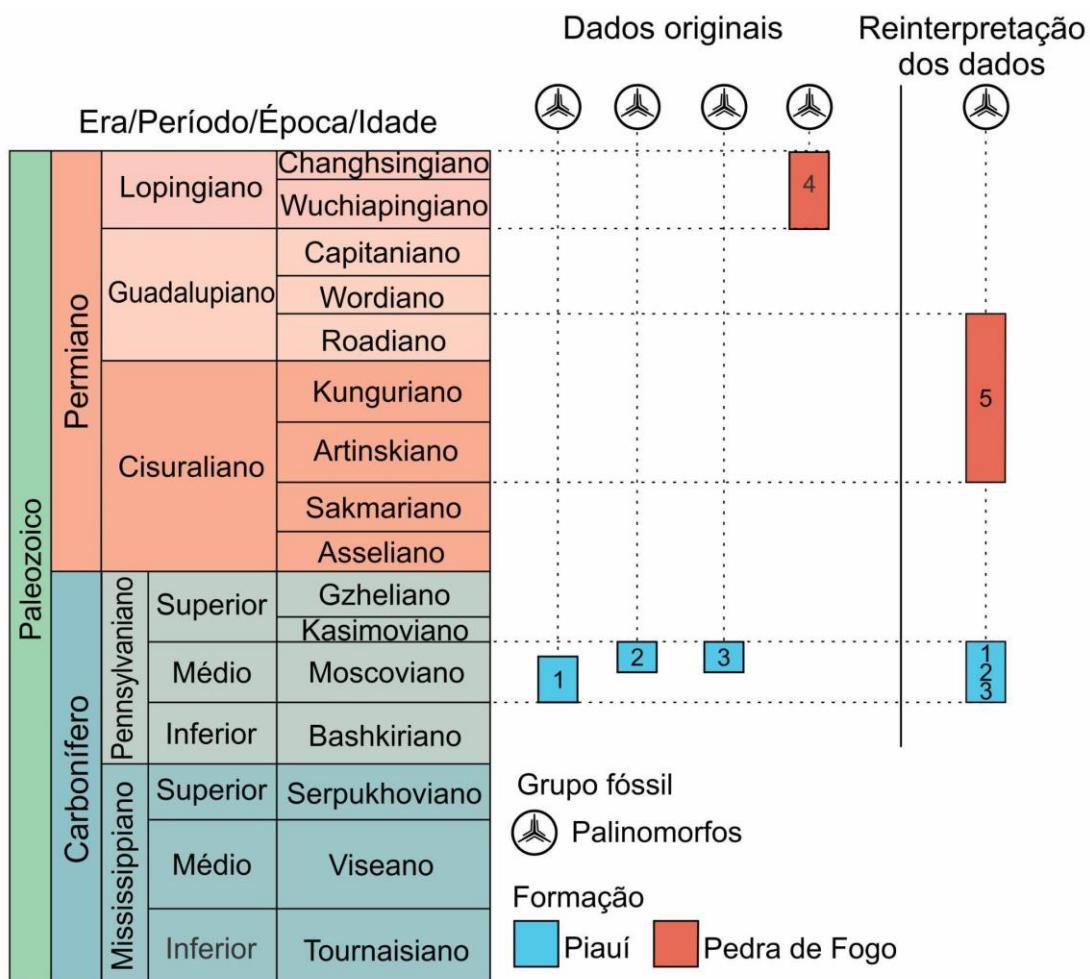
Com base no material já publicado, a reavaliação do conteúdo palinológico de intervalos da Formação Piauí (DINO & PLAYFORD, 2002; SOUZA *et al.*, 2010; BETELLA, 2019) indicou comparações com a Zona *Distriatites insolitus* (UFRGS, 2014, inédito), pela presença de *Striatosporites heyleri*, *Meristocorpus ostentus* e *Lunatisporites onerosus*, de idade pennsilvaniana média (Figura 2). Esta correlação infere que a idade da Formação Piauí remonta a 315,2 - 307,0 milhões de anos atrás.

Quanto à Formação Pedra de Fogo, as amostras analisadas na literatura (DINO *et al.*, 2002) permitiram o posicionamento da porção superior da formação (Membro Trisidela) em idade permiana superior, a partir do registro de *Tornopollenites toreutus* e *Hamiapollenites karrooensis*, que embasaram correlação com a Zona *Tornopollenites toreutus*, estabelecida para a Bacia do Amazonas (PLAYFORD & DINO 2000a; 2000b). No entanto, de acordo com OLIVEIRA (2020), na Bacia do Gabão, esse táxon tem registro no início do Permiano, do Cisuraliano ao Guadalupiano médio (JARDINÉ, 1974). Considerando os dados sobre sua amplitude na Bacia do Paraná (PEREZ LOINAZE *et al.*, 2010; ROCHA *et al.*, 2020) e em determinadas seções da Argentina (GUTIERREZ *et al.*, 2011; BALARINO, 2014), *T. toreutus* tem alcance entre o Cisuraliano médio e o Lopingiano (Figura 2), o que poderia indicar idade mais antiga, entre 290,1 - 266,9 milhões de anos para o intervalo do Membro Trisidela da Formação Pedra de Fogo estudado por DINO *et al.* (2002).

A Figura 2 reproduz a análise bioestratigráfica de estudos palinológicos realizados nas unidades do Grupo Balsas. A coluna de reinterpretação de dados reflete o refinamento obtido através de correlações feitas com base em trabalho ainda inédito na Bacia do Amazonas (UFRGS, 2014). Neste contexto, os palinomorfos apresentam boa resolução

biocronoestratigráfica para os intervalos pennsilvaniano e permiano da Bacia do Parnaíba, exercendo papel essencial na caracterização do arcabouço cronoestratigráfico da bacia.

Figura 2. Distribuição cronoestratigráfica dos grupos paleontológicos registrados no Grupo Balsas. Carta cronoestratigráfica segundo COHEN *et al.* (2021). 1. DINO & PLAYFORD (2002); 2. SOUZA *et al.* (2010); 3. BETELLA (2019); 4. DINO *et al.* (2002); 5. Reinterpretado de DINO *et al.* (2002) com base UFRGS (2014).



3.2 Inferências paleoecológicas

A Formação Piauí apresenta registros de associações palinológicas diversificadas, constituídas por grãos de pólen monossacados, bissacados, esporos e algas. Esporos triletes e raros representantes monoletes ocorrem subordinados aos grãos de pólen. A presença de *Leiosphaeridia*, cisto de alga da divisão Prasinophyta, indica deposição em corpo d'água com alguma salinidade (DINO & PLAYFORD, 2002; SOUZA *et al.*, 2010; BETELLA, 2019). De acordo com Betella (2019), os resultados palinológicos apoiados pela litologia, dados palinofaciológicos e reconstruções paleogeográficas indicam um ambiente marinho plataforma raso, evoluindo para planícies de maré e *sabkhas*, configurando um aumento na aridez na porção superior da Formação Piauí.

A Formação Pedra de Fogo possui menos informações palinológicas do que a unidade pennsilvaniana da bacia. Os palinomorfos desta unidade são, predominantemente,

grãos de pólen bissacados, alguns representantes monossacados e poliplicados. Esporos triletos não alcançam 30% de abundância. MÜLLER (1962) constatou que a Zona J, posicionada na base da Formação Pedra de Fogo, era caracterizada pelo reduzido número de esporos. Para DINO *et al.* (2002), a presença de raros acritarcos e a ocorrência de algas da divisão Chlorophyta embasam a proposição de ambiente continental com influência marinha. O domínio de grãos de pólen teniados e a análise das fácies amostradas indicam clima quente, árido a semiárido.

3.3 Pesquisas em andamento

O estudo palinológico da seção pennsilvaniana-permiana da Bacia do Parnaíba que compõe o projeto “BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões” tem como objetivo principal auxiliar na ampliação dos conhecimentos paleontológicos e geológicos das bacias do norte do Brasil.

Para a Bacia do Parnaíba, além da revisão e atualização dos dados palinológicos já publicados e aqui apresentados, atividades de campo foram realizadas, com coletas em sítios já conhecidos como fossilíferos para outros grupos fósseis, como conodontes; novas localidades foram descobertas e amostradas, além de diversos poços estratigráficos anteriormente estudados em fase de processamento de amostras análise.

As análises palinológicas em andamento aqui apresentadas envolvem pesquisadores e discentes de graduação e pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) envolvidos em pesquisas que abrangem desde a Formação Poti até a Formação Motuca. Com foco em datações relativas das unidades geológicas de interesse e na elaboração de um palinozoneamento próprio para a Bacia do Parnaíba, os resultados deste projeto multidisciplinar ampliarão consideravelmente o conhecimento das floras que colonizavam a região da Bacia do Parnaíba durante o Pennsilvaniano-Permiano aumentando o conhecimento sobre cronoestratigráfico e paleoambiental desta região.

Na Figura 3 são apresentados palinomorfos selecionados provenientes de níveis da Formação Piauí do poço 1-UN-09-PI. Trata-se de material inédito já resultado das análises palinológicas do Projeto BIOCRONORTE, muitos deles mencionados nos trabalhos aqui discutidos.

As espécies de esporos (gêneros *Calamospora*, *Endosporites* e *Vallatisporites*) registradas (Fig. 3: A, B e C) possuem afinidade paleobotânica principalmente com Sphenopsida e Lycopsida (BALME, 1995), grupos representantes de plantas vasculares, semelhantes às samambaias atuais. Esses grupos são característicos de ambientes higrófilos, junto a corpos d’água ou áreas alagadiças (mangues, pântanos e turfeiras).

O registro de grãos de pólen monossacados (Fig. 3: D, E e F), representados pelos gêneros *Cannanoropolis*, *Plicatipolenites*, *Caheniasaccites* e *Potonieisporites*, é indicativo da presença de uma flora representante das Cordaitales e/ou Coniferales (POTONIÉ, 1967; BALME, 1995), vegetação xerófila, de áreas mais elevadas, nas quais o lençol freático está localizado a uma distância métrica da superfície (IANNUZZI & VIEIRA, 2005).

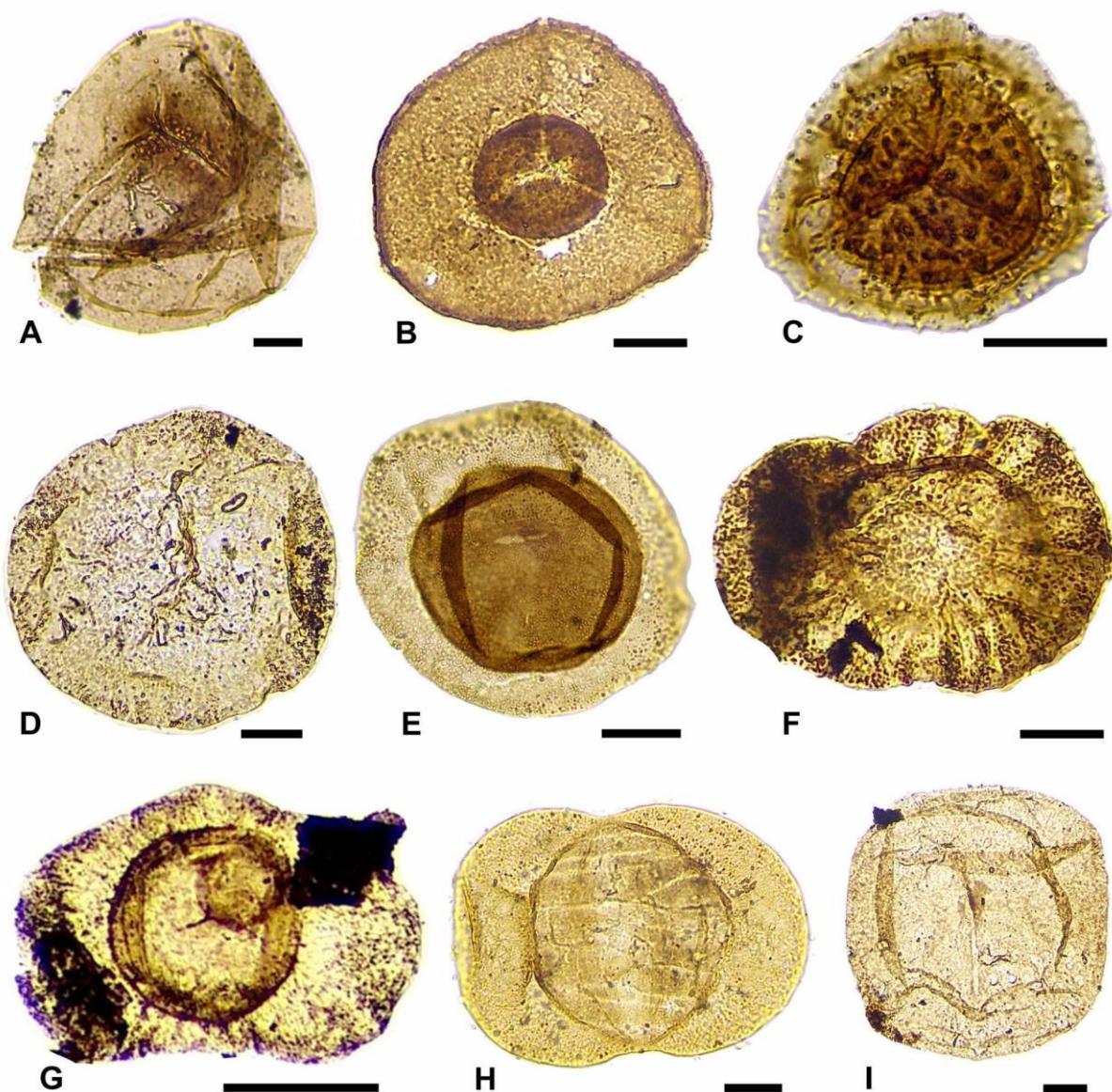
Os grãos de pólen bissacados estriados (Fig. 3H), representados pelo gênero *Striatopodocarpites phaleratus* possuem afinidade tentativa com as glossopterídeas (Glossopteridales) segundo BALME (1995), formas extintas de ambientes mesófilos, ou seja, viviam ao redor dos corpos d’água, adaptadas a terrenos melhor drenados.

As algas prasinofíceas, representadas na figura 3I pelo gênero *Leiosphaeridia*, atualmente são encontradas principalmente em ambiente marinho, mas também têm seu registro em ambientes de águas doce ou salobra (TAPPAN, 1980). Seus representantes fósseis são encontrados em depósitos proximais (lagos rasos, áreas de deltas) e em sedimentos marinhos.

Os Microfósseis e a História da Bacia do Parnaíba durante o Pennsilvaniano e o Permiano

Todas as vinculações dos esporos e dos grãos de pólen a grupos de plantas e a interpretação da preferência ecológica dos cistos algálicos são utilizadas de forma integrada, ou seja, analisando-se nível por nível, uma vez que cada amostra é um “retrato” de um determinado ecossistema, com condições ambientais particulares. Por esse motivo, o trabalho de coleta, recuperação e análise dos palinomorfos, bem com outros microfósseis presentes, é de vital importância para a devida reconstrução da história sedimentar da Bacia do Parnaíba.

Figura 3. Fotomicrografias de palinomorfos selecionados do poço 1-UM-09-PI da Formação Piauí, Bacia do Parnaíba. A) *Calamospora hartungiana* Schopf in Schopf, Wilson & Bentall 1944 (Lâmina MP-P 1434; profundidade 145, 88 m; coordenada England Finder S44/2); B) *Endosporites globiformes* (Ibrahim) Schopf, Wilson & Bentall 1944 (MP-P 14353; 151,60 m; C32); C) *Vallatisporites arcuatus* (Marques-Toigo) Archangelsky & Gamerro 1979 (MP-P 14352; 149,40 m; R60); D) *Cannanoropollis janakii* Potonié & Sah, 1960 (MP-P 14352; 149,40 m; S57/1); E) *Plicatipollenites gondwanensis* (Balme & Hennelly) Lele, 1964 (MP-P 14353; 151,60 m; D55); F) *Caheniasaccites flavatus* Bose & Kar emend. Azcuy & Di Pasquo, 2000 (MP-P 14353; 151,60 m; L42/4); G) *Potonieisporites lelei* Maheshwari, 1967 (MP-P 14352; 149,40m; J42); H) *Striatopodocarpites phaleratus* (Balme & Hennelly 1955) Hart, 1964 (MP-P 14353; 151,60 m; E43/1); I) *Leiosphaeridia Eisenack 1958 emends.* Downie & Sarjeant, 1963; Tuner, 1984 (MP-P 14352; 149,40 m; M43). MP-P: Palinoteca do Museu de Paleontologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do IG/UFRGS (escala = 20 μ m).



4 Considerações finais

O primeiro estudo de cunho bioestratigráfico realizado em uma bacia terrestre brasileira foi proposto para a Bacia do Parnaíba, referente a um relatório interno indisponível para o público em geral. Somente nas últimas décadas, os estudos palinológicos inauguraram uma nova fase de análise palinoestratigráfica para a bacia, com informações cada vez mais precisas sobre a proveniência da amostragem, com descrições, listagens e ilustrações dos táxons reconhecidos. Estes trabalhos utilizaram como base de correlação o zoneamento já conhecido para a Bacia do Amazonas. Os níveis estudados na Bacia do Parnaíba são relativos à idade 315,2 - 307,0 milhões de anos (Pennsilvaniano), para a Formação Piauí, e 290,1 - 266,9 milhões de anos (Cisuraliano médio ao Lopingiano), para a Formação Pedra de Fogo. Contudo, esses resultados não devem ser estendidos a toda a seção conhecida destas unidades, que podem ter limites basais e superiores distintos destas idades.

Os estudos em andamento visam aumentar a acurácia no posicionamento cronoestratigráficos das formações Piauí e Pedra de Fogo, foco principal deste projeto, utilizando-se de uma amostragem robusta e de ampla cobertura bacinal.

Referências bibliográficas

BALARINO, Maria Lucia. **Permian palynostratigraphy of the Claromecó Basin, Argentina.** Alcheringa, 38(3): 317–337. 2014.

BETELLA, Camila M. **Palinologia da Formação Piauí (Pennsilvaniano), Grupo Balsas, Borda Leste da Bacia do Parnaíba: Palinoestratigrafia e Paleoambientes.** 53p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019.

BALME, Basil. **Fossil in situ spores and pollen grains: an annotated catalogue.** Review of Palaeobotany and Palynology, 87: 81–323. 1995.

BHARADWAJ, D. C.; KAR, Ram Krushna & NAVALE, G. K. B. **Palynostratigraphy of the Lower Gondwana deposits in Paraná and Maranhão basins, Brazil.** Biological Memoirs Paleopalynology, Series 3, 1(1-2): 53-108. 1976.

COHEN, Kim Mikkel; FINNEY, Stan C.; GIBBARD, Philip Leonard & FAN, Junxuan. **The ICS International chronostratigraphic Chart** (2013; atualizada). Episodes, 36: 199-204. 2021.

CRUZ, Waldemir Barbosa da; ABORRAGE, Antônio Michel & SANTOS, Maria Eugenia Marchesini. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba.** Recife, DNPM/CPRM, 3: 1-26 (Relatório Interno). 1973.

DAEMON, Roberto Ferreira & CONTREIRAS, C. J. A. **Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, 1971, São Paulo. Anais. São Paulo, SBG, v. 1, p. 79–88. 1971.

DAEMON, Roberto Ferreira & QUADROS, Luiz Padilha. **Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná,** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 24, 1970, Brasília. Anais. Brasília, SBG, v. 1, p. 359–412. 1970.

DINO, Rodolfo & PLAYFORD, Geoffrey. **Stratigraphic and palaeoenvironmental significance of a Pennsylvanian (Upper Carboniferous) palynoflora from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, northeastern Brazil.** Paleontological Research, 6(1): 23- 40. 2002.

DINO, Rodolfo; ANTONIOLI, Luzia & BRAZ, Stella Maria N. **Palynological data from the Trisidela Member of Upper Pedra de Fogo Formation (“Upper Permian”) of the Parnaíba Basin, northeastern Brazil.** Revista Brasileira de Paleontologia 3: 24-35. 2002.

GUTIÉRREZ, Pedro Raul; ZAVATTIERI, Ana M.; EZPELETA, Miguel & ASTINI, Ricardo. **Palynology of the La Veteada Formation (Permian) in the Sierra de Narváez, Catamarca Province, Argentina.** Ameghiniana, 48 (2), 154-176. 2011.

IANNUZZI, Roberto & VIEIRA, Carlos Eduardo Lucas. **Paleobotânica.** Porto Alegre, Editora UFRGS, 167p. 2005.

JARDINÉ, S. **Microflores des formations du Gabon attribuées au Karroo.** Review of Palaeobotany and Palynology, 17: 1-2. 1974.

LEITE, Jairo Fonseca; ABORRAGE, Antônio Michel & DAEMON, Roberto Ferreira. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba.** Recife, DNPM/CPRM, 5 v. (Relatório Interno, inédito). 1975.

MELO, José Henrique Gonçalves de; LOBOZIAK, Stanislas & STREEL, Maurice. **Latest Devonian to early Late Carboniferous biostratigraphy of Northern Brazil: an update.** Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production, 22(1):13-33. 1998.

MÜLLER, Helmut. **Report on palynological results of samples examined from wells in Maranhão.** PETROBRAS, 59p. (Relatório Interno). 1962.

MURPHY, Michael A. & SALVADOR, Amos. **International Stratigraphic Guide - An abridged version.** Episodes, 22, 255-271. 1999.

OLIVEIRA, Edvaldo José. **Palinologia do Grupo Balsas, Pennsilvaniano-Permiano da Bacia do Parnaíba.** 55p. Monografia de Qualificação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2020.

PÉREZ LOINAZE, Valéria S.; CÉSARI, Silvia N.; LÓPEZ GAMUNDÍ, Oscar & BUATOIS, Luis. **Palynology of the Permian San Miguel Formation (Western Paraná Basin, Paraguay): Gondwanan biostratigraphic correlations.** Geologica Acta, 8: 483-493. 2010.

PETRI, Setembrino; COIMBRA, Armando Márcio; AMARAL, Gilberto & PONÇANO, Waldir Lopes. **Guia de Nomenclatura Estratigráfica.** Revista Brasileira de Geociências, 16: 376-415. 1986.

PLAYFORD, Geoffrey & DINO, Rodolfo. **Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part one.** Palaeontographica Abteilung B, 255:1-46. 2000a.

PLAYFORD, Geoffrey & DINO, Rodolfo. **Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil: Part two.** Palaeontographica Abteilung B, 255:87-145. 2000b.

POTONIÉ, Robert. **Versuch der Einordnung der fossilen Sporae dispersae in das phylogenetische System der Pflanzenfamilien.** Forschungsber. Landes Nordrhein-Westfalen, 1761: 1-310. 1967

QUADROS, Luiz Padilha & MELO, José Henrique Gonçalves de. **Método prático de preparação palinológica em sedimentos pré-mesozóicos.** Boletim de Geociências da Petrobrás, 1(2): 205-214. 1987.

QUADROS, Luiz Padilha. **Memórias pessoais de Frederico Waldemar Lange.** In: BOSETTI, E. P.; GRAHN, Y. & Melo, J. H. G. *Ensaios em Homenagem a Frederico Waldemar Lange.* 1^a ed. Rio de Janeiro: *Interciência*, p. 22-25. 2011.

Os Microfósseis e a História da Bacia do Parnaíba durante o Pennsilvaniano e o Permiano

ROCHA, Haline de Vasconcellos; MENDES, Márcia; PEREIRA, Zélia; RODRIGUES, Cristina; FERNANDES, Paulo; LOPES, Gilda; SANT'ANNA, Lucy Gomes; TASSINARI, Colombo Celso Gaeta & LEMOS DE SOUSA, Manuel João. **New palynostratigraphic data of the Irati (Assistência Member) and the Corumbataí formations, Paraná Basin, Brazil, and correlation with other south American basins.** Journal of South American Earth Sciences, 102:102631. 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102631>.

SEYVE, Christian. **Introdução a Micropaleontologia.** Universidade A. Neto - Elf Aquitaine, 231 pp., Angola. 1990

SOUZA, Paulo Alves de. **Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil.** Review of Paleobotany and Palynology, 138: 9-29. 2006.

SOUZA, Paulo Alves de; MATZEMBACHER, Lucas Thetinski; ABELHA, Marina & BORGHI, Leonardo. **Palinologia da Formação Piauí, Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba: Biocronoestratigrafia de intervalo selecionado do poço 1-UN-09-PI (Caxias, MA, Brasil).** Revista Brasileira de Paleontologia, 13: 57–66. 2010.

TAPPAN, Helen. **The Paleobiology of Plant Protists.** W.H. Freeman and Company, San Francisco, U.S.A. 1028 p. 1980.

TRAVERSE, Alfred. **Paleopalynology.** Dordrecht: Springer, U.S.A. 813p. 2007.

TYSON, Richard. **Sedimentary Organic Matter.** Organic facies and palynofacies. Londres: Chapman & Hall, 1995.

UFRGS. **Micropaleontologia das bacias Amazonas e Solimões: refinamento biocronoestratigráfico da seção pensilvaniana e permiana com base em palinologia, fusilinídeos e conodontes.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Relatório Final, 4 vols.3 anexos. 2014.

¹ Os autores agradecem às instituições convenentes do Projeto BIOCRONORTE, quais sejam: PETROBRAS (Processo Sigitec 2018/00541-5), FAURGS (Processo 8391-3), UFPA, UFPE, UFRGS (Interação Acadêmica 000803), USP, ANP (21561-6); e a Academia de Ciências do Piauí - ACIPI. PAS (Processo 313340/2018-8) é bolsista do CNPq.



REGISTRO FÓSSIL DE INVERTEBRADOS DA SEQUÊNCIA PERMO-CARBONIFERO DA BACIA DO PARNAÍBA

Invertebrate fossil record from the Permo-Carboniferous sequence of the Parnaíba Basin

Lucieny Raquel da Costa e Silva¹, Ana Emilia Quezado de Figueiredo² e Daniel Costa Fortier³

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFC; lucienydacostasilva@gmail.com ORCID: 0000-0002-9797-4500

² Laboratório de Geociências e Paleontologia – LGP,UFPI ana.emilia@ufpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-3288-3931

³ fortier@ufpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-4143-9250

RESUMO: O uso de invertebrados para caracterização dos ambientes terrestre e marinho através de fosseis é de ampla aplicação devido ao íntimo relacionamento entre os invertebrados e o ambiente em que vivem. Assim, realizou-se o levantamento bibliográfico sobre o registro de invertebrados fósseis, com enfoque na formação Poti e Piauí (Carbonífero) e formação Pedra de Fogo (Permiano) da Bacia do Parnaíba. Para a pesquisa foi delimitado uma porção no intervalo permo-carbonífero, situada na região pertencente ao Estado do Piauí, onde afloram uma grande quantidade de rochas sedimentares da Era Paleozoica. O estudo mostra, que a presença de um mesmo grupo de invertebrados, os bivalves, para as três formações confirma a similaridade que existe entre as faunas carboníferas das formações Poti e Piauí e as do Permiano da formação Pedra de Fogo. Isso pode ser explicado pelo fato de que no Piauí os trabalhos para essas formações, apesar de virem crescendo ainda não são suficientes ou ainda pelo fato de que os sedimentos serem muitos re trabalhados ou ainda em consequência de movimentos tectônicos chegando a acumular sedimentos marinhos durante esses movimentos.

Palavras-chave: Bivalves, Poti, Piauí e Pedra de Fogo

ABSTRACT: The use of invertebrates to characterize terrestrial and marine environments through fossils is widely applied due to the close relationship between invertebrates and the environment in which they live. Thus, a bibliographic survey was carried out on the registration of fossil invertebrates, focusing on the Poti and Piauí (Carboniferous) and Pedra de Fogo (Permian) formations in the Parnaíba Basin. For the research, a portion was delimited in the permo-carboniferous interval, located in the region belonging to the State of Piauí, where a large amount of sedimentary rocks from the Paleozoic Era flourish. The study shows that the presence of the same group of invertebrates, the bivalves, for the three formations confirms the similarity that exists between the carboniferous fauna of the Poti and Piauí formations and those of the Permian of the Pedra de Fogo formation. This can be explained by the fact that in Piauí the work for these formations, despite growing, is still not enough, or because the sediments are reworked a lot or as a result of tectonic movements reaching marine sediments during these movements.

Keywords: Bivalves, Poti, Piauí and Pedra de Fogo.

1 Introdução

Fósseis de invertebrados na Bacia do Parnaíba estão representados, praticamente em todos os períodos geológicos, fornecendo dados para a reconstrução paleoecológica dos antigos ecossistemas. Os invertebrados são considerados o grupo mais favorável para esta abordagem dada sua abundância no registro geológico, além da quantidade de organismos e grande diversidade morfológica e ecológica (Zucon & Vieira, 2010). Aliado aos restos corporais dos invertebrados, os icnofósseis encontrados na Bacia do Parnaíba, ajudam a compreender os aspectos evolutivos da fauna dos ecossistemas do passado (Carvalho, 2004; Hasui, 2012).

A Bacia do Parnaíba situa-se no norte da Plataforma Sul-Americana e nordeste ocidental do território brasileiro (Góes et al., 1994). A Geologia, através da interpretação das rochas, permite a identificação de características paleoambientais básicas, como o tipo de ambiente a partir dos processos sedimentares (Holz & Simões, 2000).

O uso de invertebrados para caracterização dos ambientes continentais e marinho através de fósseis é de ampla aplicação, devido ao íntimo relacionamento entre os invertebrados e o ambiente em que vivem (Carvalho, 2004). Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar o levantamento bibliográfico sobre o registro dos invertebrados fósseis, com enfoque nas formações Poti e Piauí (Carbonífero) e o intervalo transicional para a formação Pedra de Fogo (Permiano) da Bacia do Parnaíba.

2 Material e Métodos

2.1. Área de pesquisa

Para esta pesquisa foi delimitado uma porção no intervalo permo-carbonífero, situada na região pertencente ao Estado do Piauí, onde afloram uma grande quantidade de rochas sedimentares da Era Paleozoica, apresentando fósseis. Estas rochas fazem parte da Bacia do Parnaíba (Figura 1; Santos & Carvalho, 2009).

Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Parnaíba.

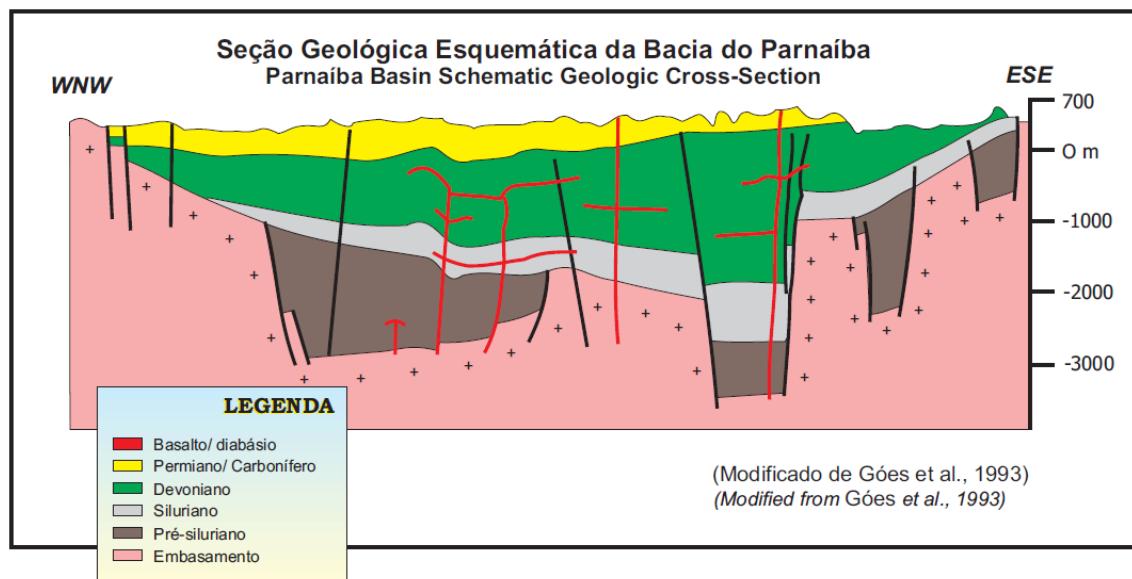


Fonte: retirado de Santos & Carvalho (2009)

2.2 Características Geológicas

Os sedimentos paleozoicos são dominados por clásticos continentais; os estratos carbonáceos (calcário e dolomito) e evaporíticos (gipsita e anidrita) são característicos, principalmente do Carbonífero Superior e do Permiano, representativos de transgressões marinhas e ambientes restritos sob condições quentes e áridas (Gallo, 2012). A sedimentação na Bacia do Parnaíba (Figura 2), ocorreu inicialmente em consequência da atuação de um mega sistema de fraturas, associado à subsidência crustal de uma grande área cratônica, que ocorreu no Siluriano-Devoniano. O período Carbonífero correspondente a Formação Poti compreende um sistema transgressivo com lobos sigmoidais deltaicos e tempesticos. No Carbonífero Inferior e Permiano há um dessecamento geral da bacia. No Carbonífero Superior, a sedimentação eólica e seguida de sedimentação marinha transgressiva (Formação Piauí). No Permiano ocorreu novo rebaixamento do nível de base com sedimentação eólica seguida por elevação do nível dos corpos aquáticos interiores em ambientes lacustres e evaporíticos (Formação Pedra de Fogo).

Figura 02: Seção Geológica da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

As formações aflorantes pertencentes ao intervalo permo-carbonífero no Piauí, permitem auxiliar na reconstituição paleoambiental da região: Formação Poti, composta por arenitos cinza-esbranquiçados, intercalados com folhelhos e siltitos, depositados em ambiente deltaico e de planícies de maré, sob influência ocasional de tempestades; Formação Piauí representada por um pacote de arenito cinza-esbranquiçado, localmente conglomerático, associado a folhelho vermelho e calcário esbranquiçado, depositados durante o Pennsylvaniano em ambiente continental e litorâneo sob condições de severa aridez (HASUI, 2012); e Formação Pedra de fogo, datada como permiana, caracterizada por sedimentação cíclica regressiva de ambiente marinho raso, que passa gradualmente para ambiente continental de clima árido (PETRI; FULFARO, 1983).

2.3 Grupo de pesquisa: Invertebrados

As formações pertencentes à Bacia do Parnaíba englobam materiais antigos de fósseis e icnofósseis de invertebrados em afloramentos da Formação Piauí; bivalves, gastrópodes e conchostráceos da Formação Poti. Anelli et al 2012, ao descreveu uma nova espécie, a *Oriocrassatela piauienses*, afirma que esse gênero teve sua fase inicial de dispersão, do Carbonífero superior ao Permiano inferior, o que englobaria a formação Pedra de Fogo, no entanto a espécie foi descrita com pertencente a formação Piauí. Os fósseis de invertebrados da Formação Piauí é a segunda mais diversificada e abundante do neopaleozóico do país. Os

grupos de bivalves, gastrópodes, cefalópodes, braquiópodes, trilobitas e briozoários entre outros podem ser encontrados (Anelli, 1999; Anelli et al., 2006; Anelli et al., 2012).

3 Resultados e Discussão

As inferências paleoecológicas dos invertebrados da bacia do Parnaíba enfocam as relações entre organismos e ambientes no registro fóssil, ao nível de espécies individuais e grupos taxonômicos. São interações entre uma espécie, com seu ambiente biótico e abiótico, envolvendo a reconstrução do antigo ambiente de vida do organismo e o entendimento de como a morfologia, comportamento e outros atributos de um animal extinto influenciaram em sua sobrevivência e reprodução, face ao ambiente reconstruído. O registro fóssil da Bacia da Parnaíba, está representado por uma significativa abundância de invertebrados fósseis. Essas faunas ocorrem nos sedimentos de topo, informalmente denominados de Calcário Mocambo, Formação Piauí. Trilobitas do gênero *Ameura*, descritos por Kegel (1951), ocorrem com os moluscos bivalves *Aviculopecten* (Kegel & Costa, 1951). Na borda oeste da bacia, Kegel (1952) assinalou invertebrados referidos a *Bellerophon*, *Eomphalos*, *Astartella*, *Linopproductus*, *Leiopteria*, *Bakewellia*, *Derbyia* e *Goniasma*.

Baseando-se na análise dos dados da literatura averiguar-se que os invertebrados da Bacia do Parnaíba nas formações Poti e Piauí são abundantes, isso se deve ao fato de apresentarem um maior número de trabalhos em relação a formação Pera de fogo. A presença de um mesmo grupo de invertebrados para as três formações estudadas confirma a similaridade que existe entre as faunas carboníferas das formações Poti e Piauí e as do Permiano da formação Pedra de fogo. Várias evidências microfaunísticas indicam que os sedimentos estudados da Formação Piauí foram depositados em ambiente marinho de águas rasas.

Campanha & Rocha Campos (1979) identificaram no Calcário Mocambo, moluscos, anelídeos, briozoários, esponjas, ostracodes, fragmentos de crinóides, equinóides, holoturóides, peixes, foraminíferos arenáceos, conodontes, escolecodontes, braquiópodos e trilobitas.

Assis (1979 e 1980) apresentou uma revisão dos bivalves assinalando os gêneros *Pteria*, *Schizodus*, *Phestia*, *Edmondia*, *Wilkingia*, *Aviculopecten*, *Cypricardella*, *Permophorus*, *Rimmijymina*, *Sanguinolites*, *Streblopteria*, *Astartella*, *Posidonia*, *Leptodesma* e *Septimyalina*, identificando ainda os gastrópodes *Bellerophon*, *Euphemites*,

Euconospira e *Itaitubia* e braquiópodes das famílias Productidae, Spiriferidae e Cyrtospiriferidae.

Annelli et al. (1992 e 1994) apresentaram os bivalves do Calcário Mocambo – *Paleonucula levatiformis*, *Phestia bellistriata*, *Pteronites* sp., *Leptodesma* sp., (?)*Pteria* sp., *Aviculopecten trichotomus*, *Schizodus alpinus*, *Schizodus* sp., *Schizodus* sp., *Permophorus subcostatus*, *Astartella subquadrata*, *Oriocrassatella* sp., *Sanguinolites* sp., *Myonia* sp., *Wilkingia terminalis* e no Calcário Contendas – *Phestia bellistriata*, (?)*Pteria* sp., *Aviculopecten trichotomus*, *Permophorus subcostatus*, *Myonia* sp.

Anelli et al (2006) identificou leitos fósseis nos dolostones Esperança e Mucambo que revelam soterramento episódico de bivalves em posição de vida. Trata-se de concentrações fósseis de vários andares internamente, registrando processos antecedentes e episódicos.

Anelli et al (2009) destacam que entre os invertebrados, os mais diversificados na porção pensilvana são os bivalves Heteroconchia (dezessete espécies), seguida por Pteriomorphia (onze espécies) e Palaeotaxodonta (três espécies). Os bivalves heteroconchia são encontrados em concentrações fósseis parautóctones a autóctones, algumas em leitos de tempestade, mostrando afinidades com espécies da bacia amazônica (Formação Itaituba) e carboníferos da América do Norte, reforçando uma idade média da fauna Pensilvana.

Anelli et al (2012) descreveu uma nova espécie, a *Oriocrassatela piauienses*, encontrados em um leito de dolostone chamado informalmente de “Mucambo”, próximo ao município de José de Freitas, no Piauí. Esse gênero teve sua fase inicial de dispersão, do Carbonífero superior ao Permiano inferior, o gênero prosperou em ambientes de água fria associados à glaciação Paleozóica. Essa nova espécie, foi gravada para a Formação Piauí. Representando uma adaptação precoce às águas quentes, no entanto, com base nos dados disponíveis, espécies desse gênero parecem ter se adaptado definitivamente a ambientes de água quente, provavelmente relacionados às fases interglaciais do final da Pensilvana.

Na Formação Poti os bivalvios pertencente ao gênero *Edmodia* com indicações marinhas são relacionados com formas ocorrentes na Europa e na América do Norte, onde encontraram habitats favoráveis à colonização. As conchas de *Edmodia* estão concentradas e cimentadas por arenito de granulação muito grossa, apresentam as características funcionais de bivalvios isomiarios (Santos e Carvalho, 2009).

A maioria dos estudos sobre a Formação Pedra de Fogo da Bacia do Parnaíba tem caráter regional e relacionados a flora (Conceição et al, 2016; Faria & Truckenbrodt, 1980b) ou ainda sobre os vertebrados presente no topo da formação (Cox & Hutchinson, 1991; Price, 1948; Barberena, 1972).

4 Considerações finais

Através do levantamento bibliográfico sobre o registro fóssil de invertebrados do Paleozoico das unidades litoestratigráficas aflorantes no estado do Piauí, foi possível concluir que os invertebrados da Bacia do Parnaíba nas formações Poti e Piauí são abundantes. O estudo mostra ainda, que a presença de um mesmo grupo de invertebrados para as três formações confirma a similaridade que existe entre as faunas carboníferas das formações Poti e Piauí e as do Permiano da formação Pedra de Fogo. Várias evidências microfaunísticas indicam que os sedimentos estudados da Formação Piauí foram depositados em ambiente marinho de águas rasas. Entre as espécies pesquisadas na literatura a única que é encontrada nas três formações foram as de palinomorfos, bivalves e peixes, sendo os bivalves os únicos invertebrados presentes nas três formações. Isso pode ser explicado pelo fato de que no Piauí os trabalhos para essas formações não serem suficientes ou ainda pelo fato de que os sedimentos serem muitos retrabalhados ou ainda em consequência de movimentos tectônicos chegando a acumular sedimentos marinhos de mar raso epicontinental durante esses movimentos.

Referências bibliográficas

ALKIMIM, Fernando Flecha de. **Geologia Sul: O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almedianas ao delimitá-lo.** Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade de Ouro Preto Ouro Preto, MG. P. 17-35. 1993.

ANELLI, Luiz Eduardo; SIMÕES, Marcelo Guimarães; GONZÁLEZ, Carlos Roberto & SOUZA, Paulo. **A new Pennsylvanian Oriocrassatellinae from Brazil and the distribution of the genus Oriocrassatelle in space and time.** Published by: Muséum national d'histoire naturelle, Paris. Geodiversitas, 34 (3): 489-504. 2012.

ANELLI, Luiz Eduardo. Pelecípodes da Formação Piauí (Pensilvaniano Médio), Bacia do Parnaíba, Brasil. **Dissertação de Mestrado**, Universidade de São Paulo: 148p. 1994.

ANELLI, Luiz Eduardo, ROCHA-CAMPOS, Antonio Carlos & SIMÕES, Marcelo Guimarães. **Pennsylvanian pteriomorphian bivalves from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil**. Journal of Paleontology 80 (6): 1125-1141. 2006.

ANELLI, Luiz Eduardo; ROCHA-CAMPOS, Antonio Carlos; SIMÕES, Marcelo Guimarães & PECK, Robert. **Pennsylvanian Heteroconchia (Mollusca, Bivalvia) from the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil**. Revista Brasileira de Paleontologia 12 (2): 93-112. 2009.

ANELLI, Luiz Eduardo. Invertebrados neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Haituba (Bacia do Amazonas): Taxonomia; análise cladística das subfamílias oriocrassatellinae (Crassatellacea, Bivalvia) e neospiriferinae (Spiriferoidea, Brachiopoda). Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, **Tese de doutorado**, 243p. 1999.

ASSIS, José Fernando Pina. **Sobre uma fáunula de molusco bivalves do Calcáreo Mocambo, Carbonífero da bacia do Maranhão**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, v.52, n.1, p.201-202. 1980.

ASSIS, José Fernando Pina. Uma fáunula de moluscos bivalves do calcário mocambo, formação Piauí, carbonífero superior da bacia do Maranhão - Município de José de Freitas, Estado do Piauí. **Dissertação (Mestrado em geologia)** – Programa de Pósgraduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1979.

CAMPANHA, Vilma Alves & ROCHA-CAMPOS Antonio Carlos. **Alguns microfósseis da Formação Piauí (Neocarbonífero), Bacia do Parnaíba**. Boletim do Instituto de Geociências 10: 57-67. 1979.

CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia**. Vol1. 2^a ed. Rio de Janeiro, Interciência. 2004.

CONCEIÇÃO, Domingas Maria da; CISNEROS, Juan Carlos & IANNUZZI, Roberto. **Novo registro de floresta petrificada em Altos, Piauí: relevância e estratégias para geoconservação**. Pesquisas em Geociências, 43. 2016.

COX, C. Barry & HUTCHINSON, P. **Fishes and amphibians from the Late Permian Pedra de Fogo Formation of northern Brazil**. Paleontology, 34: 561-573. 1991.

FARIA JR, L. E.; TRUCKENBRODT, W. **Estratigrafia e petrografia da Formação Pedra de Fogo – Permiano da bacia do Maranhão**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31.

Registro Fóssil de Invertebrados da Bacia do Parnaíba (Góes e Feijó, 1994) sequência Permo-Carbonofero

Camboriú. **Anais**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia (SBG), v.2, p.740-754. 1980.

GALLO, Valeria; SILVA, Hilda Maria A; BRITO, Paulo M & FIGUEIREDO, Francisco J. **Paleontologia de vertebrados: relações entre América do Sul e África**. Interciência. Rio de Janeiro. 2012.

GOÉS, Adison M.O & FEIJÓ, Flavio J. **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobrás, 8(1): 57-67. 1994.

GÓES, Adison M.O; SOUZA, J.M.P & TEIXEIRA, L.B. **Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p.55-64. 1990.

HASUI, Yociteru; CARNEIRO, Celso Del Ré; ALMEIDA, Fernando F. M de & BARTORELLI, Andreia. **Geologia do Brasil – 1º ed.** São Paulo, Beca, 900 p. 2012.

KEGEL, Wilhelm & COSTA, M. T. **Espécies neopaleozóicas do Brasil, da família Aviculopectinidae, ornamentadas com costelas fasciculadas**. Divisão de Geologia de Mineralogia., Boletim (DNPM), Rio de Janeiro, n. 137, p. 1-48. 1951.

PRICE, Llewellyn Ivo. **Um anfíbio labirintodonte da Formação Pedra-de-Fogo, Estado do Maranhão**. Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 124: 1-32.1948.

SANTOS, Edilton José dos; COUTINHO, Maria Glícia da Nóbrega; COSTA, Marcio Paulo de Ataíde & Ramalho Ronaldo. **A região de dobramentos Nordeste e a bacia do Parnaíba, incluindo o Cráton de São Luís e as bacias marginais**. In: Schobbenhaus C, Campos D. A, Derze G. R & Asmus H. E (Eds.). Geologia do Brasil. DNPM, 5, Brasília, p. 131–189. 1984.

SANTOS, Maria Eugenia de Carvalho & CARVALHO, Marise Sardenberg Salgado de. **Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. 2ª Edição – Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil/DIEDIG/DEPAT. 2009.

ZUCON, Maria Helena & VIEIRA, Fabiana Silva. **Paleoecologia dos Invertebrados**. In: CARVALHO, I.S. Paleontologia. Interciência. Rio de Janeiro. 479-488 p. 2010.



A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

THE "STONES OF FIRE" IN THE PIAUÍ STATE

Luiz Saturnino de Andrade^{1*} & Afonso César Rodrigues Nogueira²

¹Universidade Federal do Pará; geoandrade.sl@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7168-8787

²Universidade Federal do Pará; anogueira@ufpa.br ORCID: 0000-0002-5225-9255

RESUMO: A Formação Pedra de Fogo constitui uma unidade sedimentar da Bacia do Parnaíba, e no Brasil, é considerada um dos mais importantes registros sedimentares do início do Permiano (298-273 milhões de anos atrás). A Formação Pedra de Fogo abriga fragmentos de pedra de coloração branca, geralmente dispersas dentro do barro argiloso vermelho que recobre boa parte da região de Teresina e seu entorno. Uma das características destas pedras brancas é sua capacidade de gerar faíscas quando postas em intenso atrito uma contra a outra. Outras características comuns é sua alta dureza, e sua capacidade térmica de aquecer rápida e intensamente sobre o sol escaldante do Piauí. Essas “pedras de fogo” começaram a se formar a mais de duas centenas de milhões de anos, quando o Estado do Piauí fazia parte do supercontinente Pangeia, e consistia em uma paisagem formada por um conjunto de lagos rasos com planícies salinas, esporadicamente alimentados por pequenas drenagens intermitentes que se mantinham frequentemente secas, e eram bordejados por borques formados por frondosas samambaia e gimnorpermas de pequeno a grande porte. Nesta paisagem, também proliferava variadas espécies de animais, tanto terrestres quanto aquáticas. Por meio de intensas pesquisas científicas desenvolvidas nos estados do Tocantins, Maranhão e principalmente Piauí, tanto pelos autores, bem como outros pesquisadores, ao longo de muitos anos, esse trabalho exibe as principais características geológicas, dentro do contexto paleoclimático e paleogeográfico que levaram a formação da unidade litoestratigráfica denominada Pedra de Fogo, de onde provêm as “pedras que produzem fogo”.

Palavras-chave: Permiano. Bacia do Parnaíba. Formação Pedra de Fogo. Silicificação.

ABSTRACT: The Pedra de Fogo Formation constitutes a sedimentary unit of the Parnaíba Basin, and in Brazil, it is considered one of the most important sedimentary records of the early Permian (298-273 million years ago). The Pedra de Fogo Formation holds white colored stone fragments, generally dispersed within the red loam that covers much of the region of Teresina and its neighborhood. One of the characteristics of these white stones is their ability to generate sparks of fire when placed in intense friction against each other. Other common characteristics are its high hardness, and its thermal capacity to heat up quickly and intensely under the blazing sun of Piauí. These "fire stones" began to form more than two hundred million years ago, when the Piauí State was part of the supercontinent Pangea, and consisted of a landscape formed by a set of shallow lakes with saline plains, sporadically fed by small intermittent drainages that were often kept dry, and were bordered by ledges formed by leafy ferns and small to large gymnorperms. In this landscape, also proliferated various species of animals, both terrestrial and aquatic. Through intense scientific research carried out in the states of Tocantins, Maranhão and mainly Piauí, both by the authors and other researchers, over many years, this work shows the main geological characteristics, within the paleoclimatic and paleogeographic context that led to the formation from the lithostratigraphic unit called Pedra de Fogo, whence come the "fire-producing stones".

Keywords: Permian. Parnaíba Basin. Pedra de Fogo Formation. Silicification.

1. Introdução

Os caminhos que levam para Teresina e aqueles dentro da própria cidade estão repleto de fragmentos de pedra de coloração branca, soltas ou dentro de um barro argiloso vermelho que recobre toda a região. Uma das características destas pedras brancas é sua

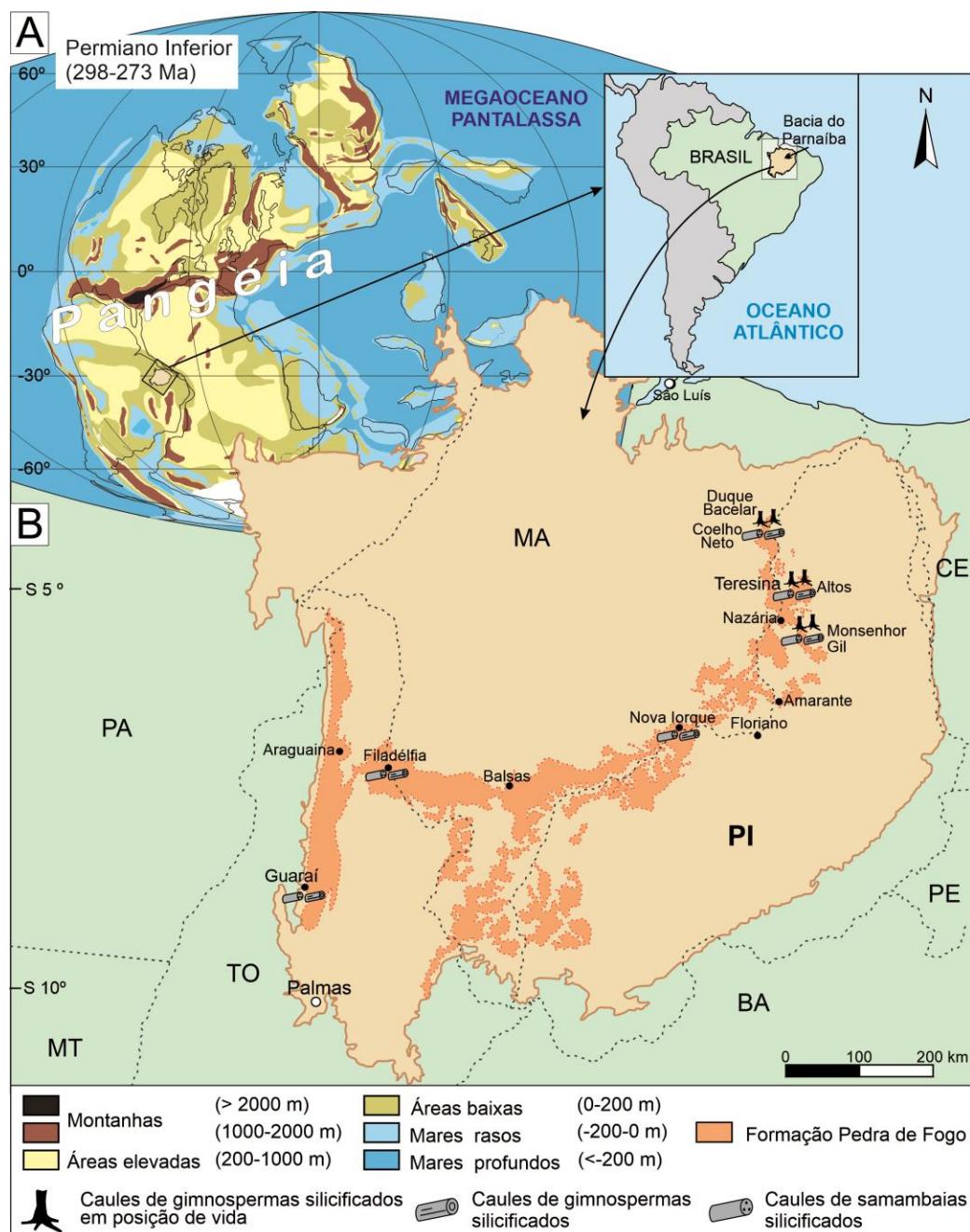
capacidade térmica que faz com que elas aqueçam com facilidade, e de forma intensa sobre o sol escaldante do Piauí. Um outro aspecto particular destas pedras é sua dureza expressiva. Quando pegamos dois fragmentos e chocamos um contra o outro, fagulhas de fogo são produzidas como se fosse um isqueiro natural. Não por acaso, os primitivos grupos humanos que primeiramente povoaram o Estado do Piauí, amplamente registrados no Parque Nacional da Serra da Capivara, faziam uso frequente dessas “pedras de fogo”, tanto para produzir fogo, como para fabricação de “facas”, e pontas de flechas e de lanças usadas para caçar e se defender dos ferozes predadores (LOURDEAU, 2019). Estas “pedras de fogo”, apesar de intrigantes, fazem parte de uma história do sertão nordestino que remonta cerca de 290 milhões anos atrás (Ma), o período geológico do planeta Terra denominado Permiano. Neste período, a região de Teresina e seu entorno faziam parte de um grande continente denominado Pangeia (Figura 1A).

Durante o Permiano (298-251 Ma), esta região tinha acabado de passar por um período mais frio relacionado a uma fase glacial que paulatinamente foi se tornando mais quente e árida, formando ambientes similares àqueles encontrados em desertos atuais como o Sahara na África, o Vale da Morte nos Estados Unidos, ou a poção centro ocidental da Austrália. Eram planícies que continham alta concentração de sal espalhados pelo solo, associadas a lagos rasos esporadicamente supridos por rios efêmeros que se mantinham secos a maior parte do tempo, em um cenário até certo ponto parecido com aquele do atual sertão nordestino. Essas planícies salinas e lagos mantinham uma concentração anômala de sais que se depositavam em depressões temporariamente cheias de água, espalhadas pelo ambiente, bem como nos fundos dos lagos rasos, gerando camadas que se repetiam de acordo com as variações do clima. Essas camadas de sais precipitados são denominadas evaporitos, pois são formadas sob regimes climáticos com intensa evaporação. Processos geológicos/geoquímicos atuantes naquele ambiente e ao longo de centenas de milhões de anos, converteram esses níveis de evaporitos em camadas de sílica. Estas camadas são conhecidas no Estado do Piauí como Formação Pedra de Fogo (FPF), uma unidade litoestratigráfica da Bacia do Parnaíba (Figura 1B).

Figura 1. A) Configuração paleogeográfica global durante o Permiano Inferior (298-273 Ma). Observe a posição aproximada da Bacia do Parnaíba, e consequentemente do Estado o Piauí (indicados pelo quadrado preto), no interior do supercontinente Pangeia, em uma região considerada um grande deserto, similar aos atuais. B) Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba mostrando a faixa de distribuição

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

espacial da Formação Pedra de Fogo, e de algumas ocorrências de caules fósseis (silicificados).



Fonte: A) Modificado de BLAKELY (2008), e B) modificado de SANTOS & CARVALHO (2009).

A FPF é reconhecida por sua expressiva silicificação, ou seja, sucessivas e frequentes camadas e/ou níveis de sílex, composto basicamente por sílica. A silicificação consiste na substituição de material pré-existente (sedimentos, rochas, tecidos orgânicos, etc.) por sílica. O sílex da FPF consiste genuinamente nas pedras que soltam faíscas, as “pedras de fogo”. Desta forma, a FPF é caracterizada por expressiva silicificação em toda

sua extensão, bem como um significativo conteúdo fossilífero, principalmente de caules ou troncos silicificados.

A silicificação da FPF ainda constitui um dos aspectos menos estudados e entendidos desta unidade sedimentar. Os primeiros entendimentos foram dados por FARIA JR. & TRUCKENBRODT (1980), que descreveram a sedimentologia destas rochas. No entanto, o entendimento das condições paleoambientais e paleoclimáticas que propiciaram a disponibilidade e condições adequadas para o acúmulo e preservação do grande volume de sílica ainda não foi adequadamente esclarecido. Nesse contexto, este trabalho apresentará de forma generalizada as principais feições microtexturais da silicificação, ou seja, tamanho, forma e arranjo microscópico dos cristais de sílica, contextualizando-os sob aspectos paleogeográfico, paleoambiental e tectônico da Bacia do Parnaíba, durante a formação da unidade sedimentar Pedra de Fogo, de onde provêm as “pedras de fogo”.

2. Paleoclima e paleogeografia do Permiano

O Permiano Inferior (298-273 Ma) registra a transição entre um período glacial, marcado principalmente por intensa glaciação na porção sul do Pangeia (Figura 1A), especialmente na parte oriental, para um período de progressivo aumento da temperatura global (SCOTESE et al., 1999). Eventos tectônicos de colisão entre os blocos continentais Gondwana e Laurussia, resultaram na formação do supercontinente Pangeia, ao longo das fases finais do Período Carbonífero, por volta de 330 milhões anos atrás (TORSVIK et al., 2012). A configuração paleogeográfica global envolvia o supercontinente Pangeia rodeado pelo megaoceano Pantalassa (Figura 1A) (BLAKELY, 2008).

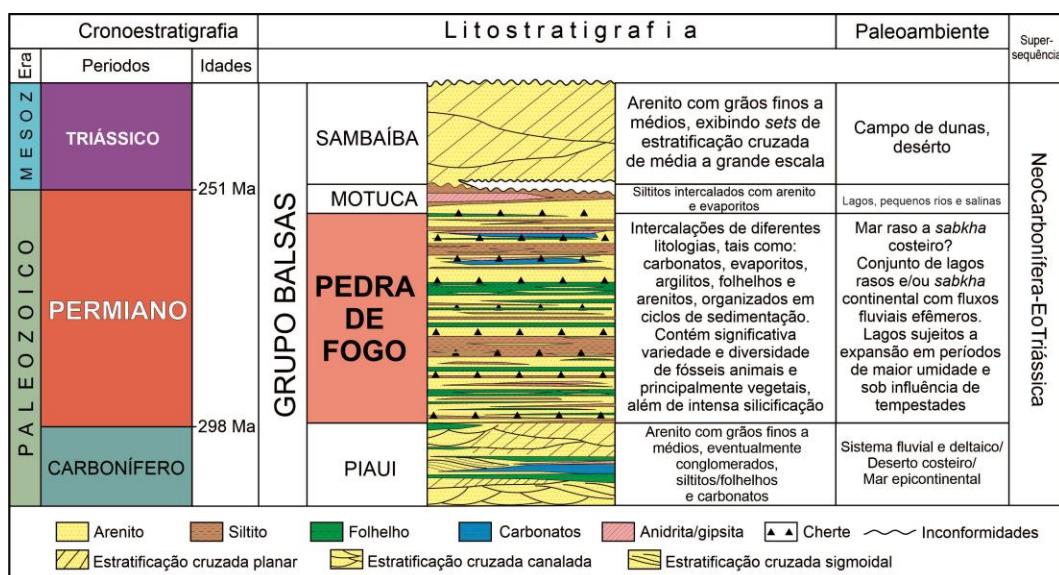
A parte central do Pangeia era cortada por expressivo cinturão montanhoso, que se estendia continuamente por toda a extensão daquele supercontinente, desde o sudoeste do atual México até o nordeste da Europa. Esta extensa cadeia de montanhas, similar a Cordilheira do Himalaia, juntamente com outros cinturões montanhosos no interior e bordas do Pangeia (Figura 1A), resultantes das intensas colisões entre placas continentais e oceânicas, ocasionaram significativas mudanças no regime de circulação dos ventos, fazendo com que suas regiões mais internas fossem intensamente afetadas por forte e crescente aridez ao longo de todo o Período Permiano (FORD & GOLONKA, 2003).

3. Aspectos gerais da Formação Pedra de Fogo da Bacia do Parnaíba

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

O preenchimento litoestratigráfico da Bacia do Parnaíba é subdivido por VAZ et al. (2007) em cinco sequências deposicionais denominadas: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea, delimitadas por importantes discordâncias que se estendem por toda a bacia. A Formação Pedra de Fogo, conforme os mesmos autores, está inserida na sequência Neocarbonífera-Eotriássica, registrada pela deposição do Grupo Balsas, iniciada nas fases finais do Período Carbonífero (323-298 Ma) com a Formação Piauí, e encerrada no Mesotriássico (247-237 Ma) com a Formação Sambaíba (Figura 2).

Figura 2. Coluna estratigráfica simplificada do Grupo Balsas (Bacia do Parnaíba).



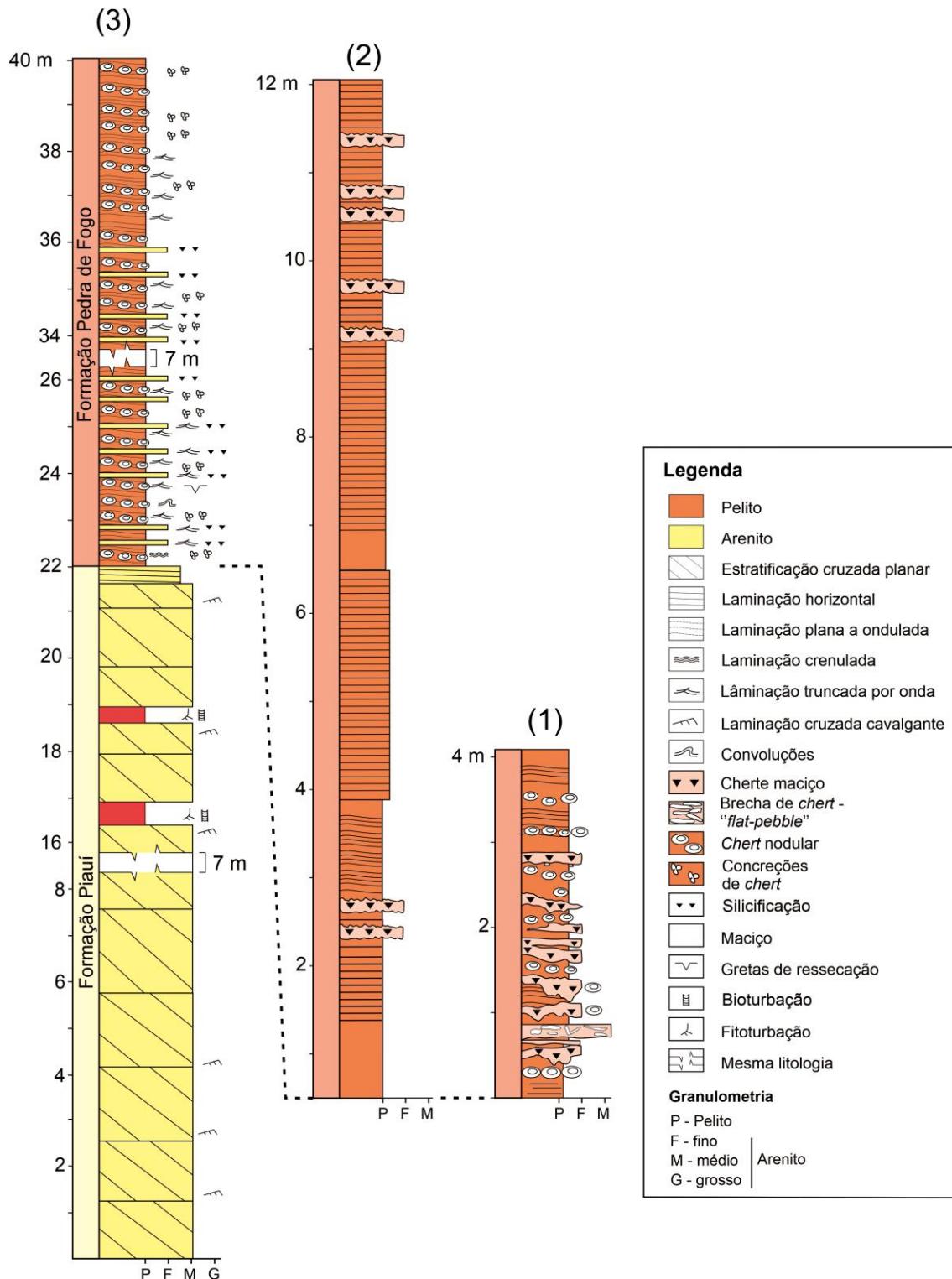
Fonte: Modificado de GÓES & FEIJÓ (1994) e VAZ et al. (2007).

3.1. Aspectos de campo da Formação Pedra de Fogo

A sucessão Pedra de Fogo nas bordas leste-sudeste da Bacia do Parnaíba, regiões dos municípios de Coelho Neto, Duque Bacelar e Nova Iorque, Maranhão, bem como União, Teresina, Altos, Nazária, Palmeirais e Amarante, Piauí; de uma forma geral, corresponde a depósitos predominantemente pelíticos (silte e argila), de coloração vermelha a laranja, por vezes mosqueados, com feições sedimentares indicativa de alternâncias entre processos de decantação, fluxos de corrente unidirecional e frequente retrabalhamento por ondas de tempo bom, eventualmente por ondas de tempestades, em corpos d’água lacustre relativamente rasos. Os pelitos, que são a litologia predominante, intercalam-se com camadas tabulares de espessuras centimétricas a decimétricas de arenito fino a muito fino (Figura 3).

Figura 3. Perfil litoestratigráfico genérico da Formação Pedra de Fogo, recobrindo os arenitos flúvio-eólicos da Formação Piauí.

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ



3.2. Características macro e microscópica do silex Pedra de Fogo

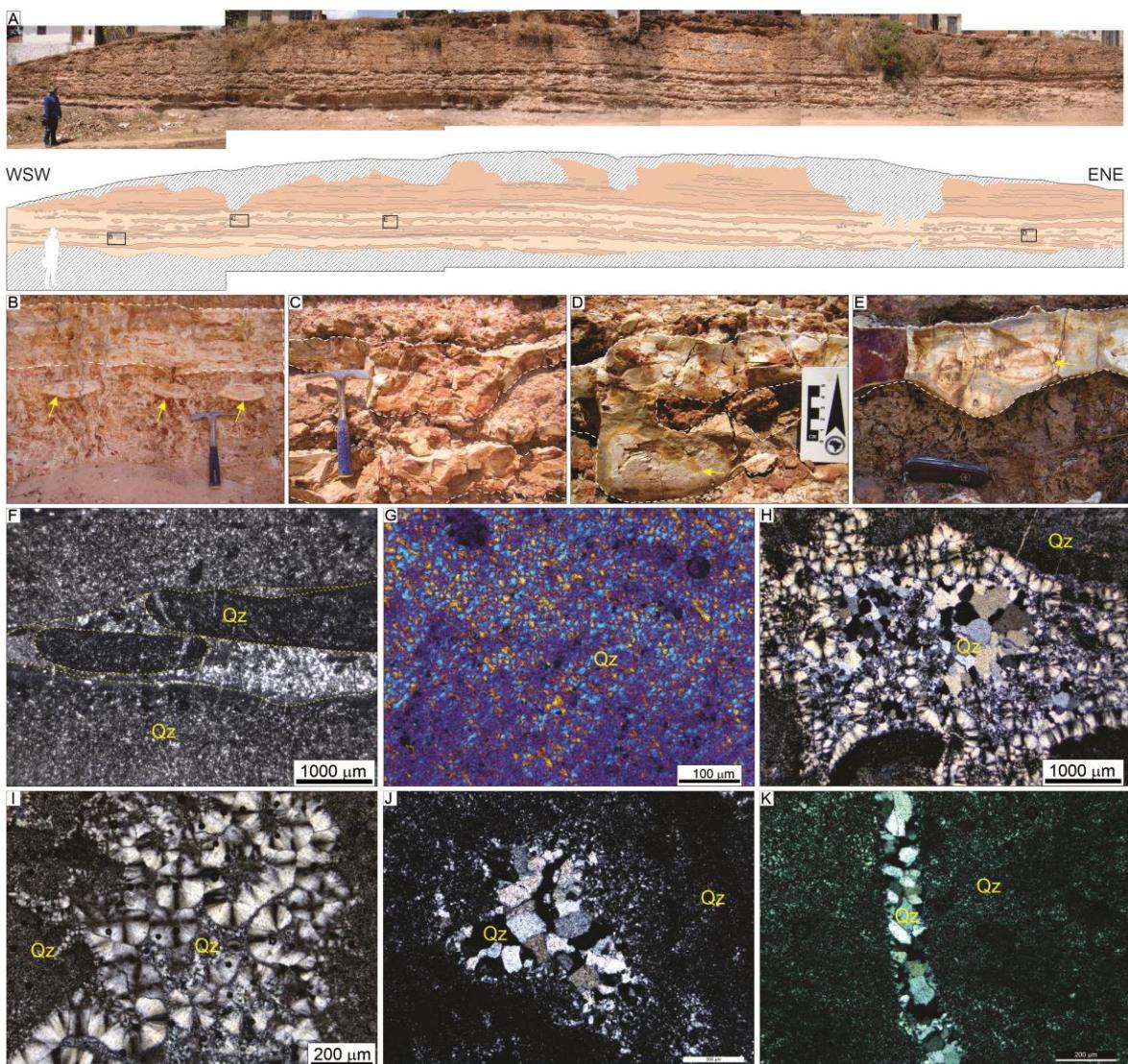
Níveis de sílex maciços e/ou nodulares, intercalados com camadas tabulares, centimétricas a métricas, lateralmente contínuas de pelito maciço, são as principais características da Formação Pedra de Fogo (Figura 4). Esses níveis de sílex maciços possuem topos relativamente planos e bases comumente irregulares, por vezes rompidas,

semelhantes à estruturas geradas por sobrecargas (Figura 4A-E). Quando visto sob ampliação com auxílio de microscópio petrográfico, o sílex Pedra de Fogo exibe uma diversidade de microtexturas, formadas por uma variedade de pequenos cristais de quartzo (SiO_2), com tamanhos individuais de até 300 μm , compactamente arranjados em uma trama fechada sem qualquer espaço vazio (Figura 4F-K). Pretéritos espaços vazios (buracos ou cavidades), denominados poros, encontram-se completamente ocluídos pela intensa silicificação, que como já dito, constitui a principal característica da unidade litoestratigráfica Pedra de Fogo, e consequentemente das “pedras de produzem fogo”.

Todo esse aspecto micromorfológico dessas “pedras de fogo”, lança luz no porquê elas são tão duras, aquecem intensa e rapidamente quando exposta ao sol, e produzem fagulhas de fogo quando postas em forte atrito? Todas essas características se devem ao arranjo acentuadamente fechado ou unido de seus microscópicos minerais, formando um cimento de silíca que fechou qualquer espaço vazio pré-existente. Esse cimento de silíca formado basicamente pelo mineral quartzo, que possui alta capacidade térmica, absorve calor e aquece rapidamente. Qualquer um que já pisou descalço na areia de uma praia sob o sol escaldante do meio do dia, intuitivamente conhece a capacidade térmica do quartzo.

Figura 4. Aspecto geral das principais características macro e microscópica do sílex Pedra de Fogo. A) Seção panorâmica mostrando a intercação entre pelito avermelhado e camadas e/ou níveis de sílex. B-E) Detalhe das camadas (tracejado branco) e nódulos de sílex (setas amarelas). Observar a expressiva irregularidade das partes basais das camadas de sílex. Embora predomine camadas de sílex maciços, sílex nodulares são frequentes, como visto na fotografia B, indicados pelas setas amarelas. E-D) Tênuas contornos de nódulos (setas amarelas) no interior das camadas de sílex. Espessura das camadas varia entre 6-15 cm. F-K) Fotomicrografias mostrando as diferentes formas e arranjos do microcristais de quartzo (Qz) que formam o sílex. Observar nas porções centrais das fotomicrografias H, I, J e K, pretéritos poros, irregulares ou alongados (fraturas), completamente preenchidos por diferentes microcristais de quartzo.

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

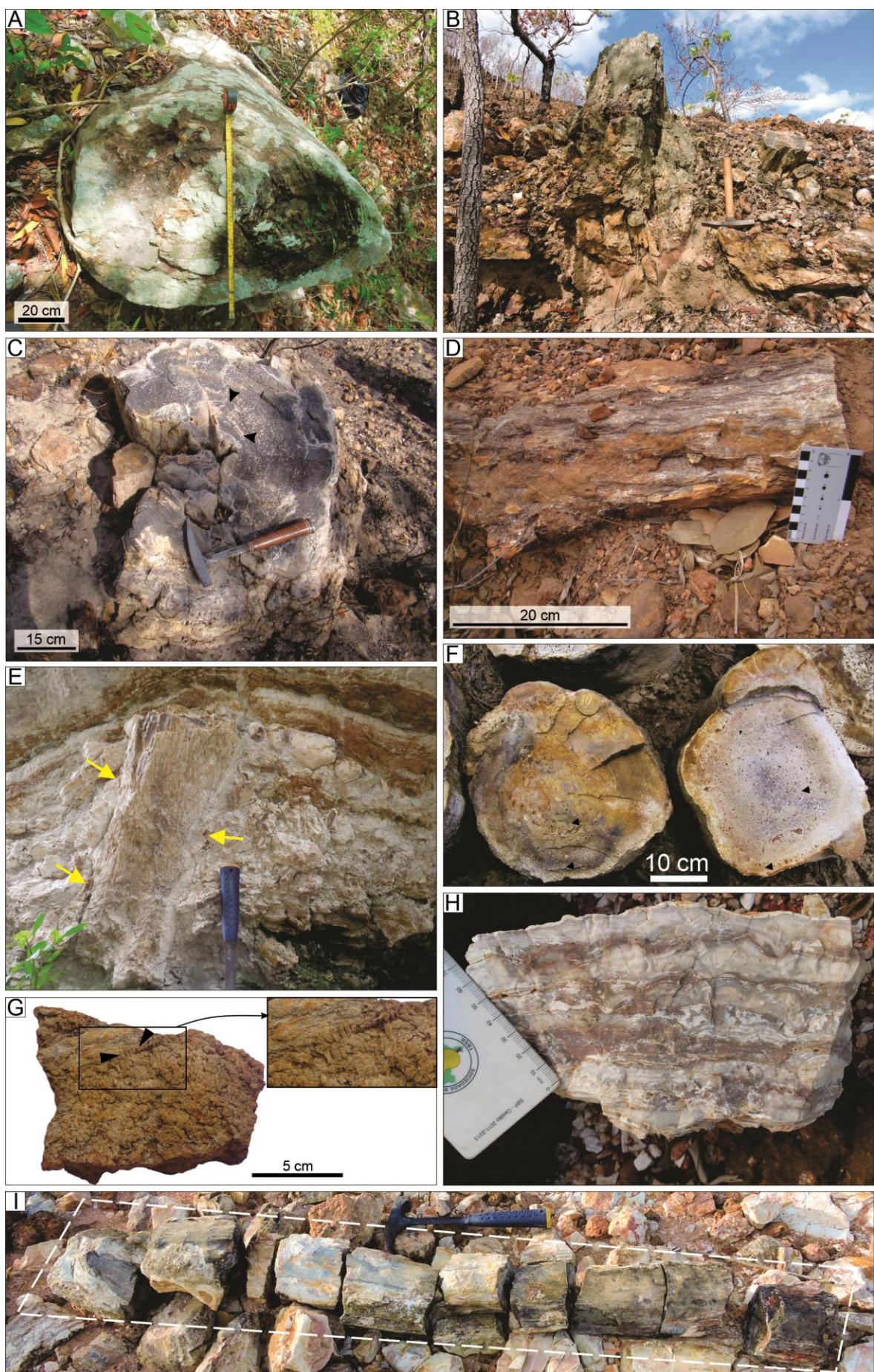


3.3. Troncos silicificados da Pedra de Fogo

Troncos silicificados de samambaias, e principalmente de gimnospermas, tanto em posição de vida quanto em posição horizontal ocorrem com frequência ao longo de toda a expressão da Formação Pedra de Fogo (Figuras 1B e 5). É comum a presença de siltitos silicificados com registros de bioconstruções, conhecidas como estromatólitos; que são estruturas organosedimentares laminadas, formadas pela atividade metabólica de microrganismos (bactérias) em ambientes aquáticos rasos e bem iluminados. Os estromatólitos são comuns em zonas fóticas marinhas e margens de lagos (VENNIN et al. 2019, MARTIN-BELLO et al. 2019, RICARDI-BRANCO et al. 2018, PETRYSHYN et al. 2016).

Figura 5. Troncos (caules) fósseis, silicificados, de gimnospermas e samambaias de médio a grande porte da Formação Pedra de Fogo. A) Fóssil de gimnosperma parcialmente rolado na vertente de um morro (região de Altos-PI). Observar sua forma ovalada (elipsoidal) decorrente da compactação (setas). B-C) Fósseis de gimnospermas em posição de vida. Na fotografia C, as setas pretas indicam feições circulares no interior dos troncos, associadas aos anéis de crescimento, característicos das gminospermas. D) Fóssil de gimnosperma rolado (B, C e D; região de Duque Bacelar/Coelho Neto-MA). E) Fóssil de gimnosperma semi-adernado (setas amarelas) (região de Teresina, dentro do Parque Floresta Fóssil). F) Detalhe de dois caules fósseis de samambaias da família Psaroniaceae, com estruturas internas bem preservadas (*Psaronius* sp., a esquerda e *Titea singularis* sp., direita) (região entre Araguaína e Filadelfia-TO, dentro do Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Tocantins (MNAFTO). G) Pínulas (folhas) fósseis de samambaia *Buritiranopteris costata* (região de Monsenhor Gil). Observar o detalhe das pínulas silicificadas cobrindo parcialmente um pequeno fragmento de tronco (setas pretas), indicativo que o processo de silicificação ocorreu de forma rápida, encapsulando e protegendo essas delicadas folhas antes da degradação e efetivo sepultamento. H) Estromatolito silicificado. I) Fragmentos fósseis de samambaia parcialmente reconstituída (tracejado). (H e I; região de Nova Iorque-MA).

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ



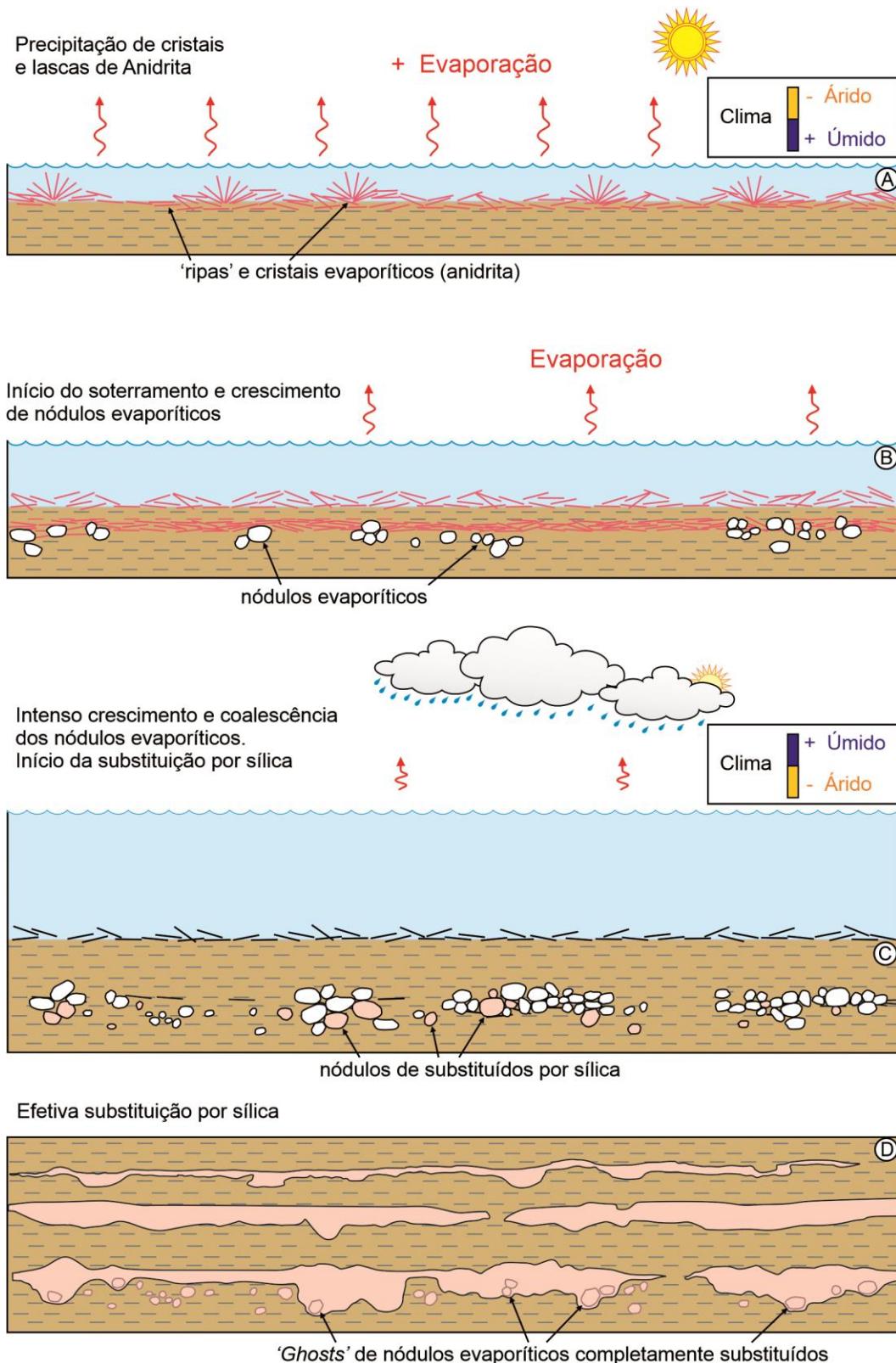
4. Precipitação de evaporitos e processos de silicificação Pedra de Fogo

Feições macroscópicas (de campo), como: *a*) intensa e frequente ocorrência de sílex por toda a expressão da Formação Pedra de Fogo; *b*) vasto conteúdo de troncos silificados, muitos em posição de vida, com suas estruturas internas e externas primorosamente preservadas; *c*) o excelente grau de preservação de estruturas organosedimentares, *e*; *d*) o frequente e diversificado conteúdo fossilífero (fragmentos de tetrápodes, peixes, anfíbios, etc.) dessa unidade litoestratigráfica (CISNEROS et al., 2015, FIGUEROA, R.T. & GALLO 2017, IANNUZZI et al., 2018, CISNEROS et al., 2020, ALVES et al., 2020, dentre outros); somadas às feições microscópicas exibidas pelos níveis silicosos (sílex), indicam que o paleobrasiliano de deposição da Formação Pedra de Fogo, embora globalmente sob clima árido (ver figuras 1), propiciou condições úmidas o suficiente para colonização de considerável conjunto de organismos. Essa fauna e flora habitavam as planícies relativamente salinas que rodeavam um conjunto de lagos rasos, eventualmente alimentados por rios efêmeros.

Frondosos bosques com grandes árvores proliferavam às margens dos lagos, absorvendo a umidade das suas planícies, enquanto conjunto de animais predadores e presas, competiam por alimentos na tentativa de garantir mais átimo de sobrevida. Este conjunto de lagos estava condicionado às variações climáticas sazonais do Período Permiano, que oscilavam de tempos em tempos entre condições mais áridas, e relativamente mais úmidas. Essas variações climáticas entre árido e úmido propiciavam variações no nível freático, com consequentemente oscilações na profundidade, e nos parâmetros físico-químicos das águas daquele sistema lacustre. Durante os períodos mais árido, as elevadas taxas de evaporação propiciavam a redução e maior concentração de sais na água, desencadeando chuvas de cristais no leito lacustre, formando níveis ou camadas de evaporitos (Figura 6A).

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

Figura 6. Modelo simplificado para geração das camadas e nódulos silicificados da Formação Pedra de Fogo.



Mudanças para condições mais úmidas ocasionavam subida do nível freático e maior influxo siliciclástico trazidos pelos rios, com diluição e consequente redução na

concentração dos sais na água, cessando, parcial ou totalmente a precipitação desses sais. Por outro lado, as taxas de deposição de pelitos era aumentada devido os aportes extras dos rios. Gradualmente, a precipitação dos pelitos sepultava os níveis de sáis evaporitos que gradativamente nucleavam (cresciam) em nódulos de variados tamanhos, muito próximos à interface água-sedimento (Figura 6B). A medida que eram soterrados e nucleavam, os nódulos evaporíticos coaleciam (juntavam-se), formando delgadas (centimétricas) camadas ou níveis com topos e bases irregulares, devido às randômicas dimensões dos nódulos. Ao longo desses processos, os nódulos eram gradativamente substituídos por sílica dissolvida no ambiente (Figura 6C). A disponibilidade desta silica é consequência das modificações nos parâmetros físico-químicos das águas daquele sistema lacustre, tais como: pH, CO₂, salinidade, cristalinidade, etc.; ocasionadas pelas frequentes variações climáticas entre árido e “úmido” (KRAUSKOPF, 1956, EUGSTER, 1969, FOLK & PITMAN, 1971, MILLIKEN, 1979, HESSE, 1988). O encadeamento relativamente cíclico de processos (geo)químicos de precipitação, nucleação e crescimento de nódulos evoaporíticos, seguidos quase concomitamente por dissolução/substituição por silica (silicificação) proceguiu ao longo dos milhões de anos de deposição e consolidação dos depósitos Pedra de Fogo. O efetivo soterramento intensificou o processo de silicificação e completa substituição dos nódulos evaporíticos, ressaltando as irregularidades formadas quando do crescimento e nucleação desses nódulos (Figuras 4B-E, e 6D).

5. Paleoambiente da Formação Pedra de Fogo

Os conjuntos de feições sedimentares presentes nos depósitos permianos da Formação Pedra de Fogo indicam deposição em ambiente lacustre raso, relativamente salino, com predomínio de decantação de sedimentos finos (pelito), por vezes retrabalhados por ondas de tempo bom, e eventualmente ondas de tempestades, principalmente em suas margens, e intermitentemente abastecido por pequenos fluviais efêmeros e/ou *terminal splays* em eventos de inundações episódicas.

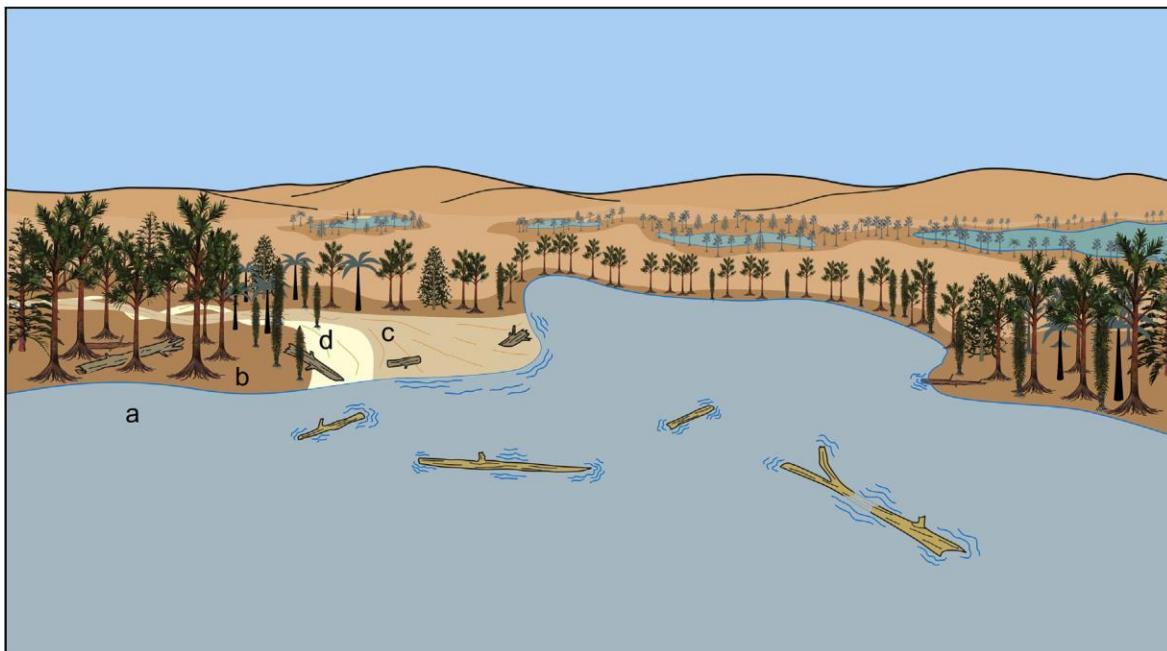
No geral, a Formação Pedra de Fogo sobrepõe-se discordantemente aos arenitos flúvio-eólicos da Formação Piauí (Figura 3), limitada por importante desconformidade relacionada com a potencial elevação do nível de base estratigráfico local (nível freático), que propiciou a implantação do sistema lacustre Pedra de Fogo (ANDRADE et al., 2014, CISNEROS et al., 2015, ANDRADE, 2019, CONCEIÇÃO et al., 2020).

As rochas que compõe esta unidade litoestratigráfica foram formadas sob um regime global de progressivo aumento da temperatura e aridez característico do Período Permiano

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

(ver figuras 1). No entanto, na região onde a FPF foi formada, no interior da Bacia do Parnaíba, que corresponde atualmente, em grande parte aos estados do Maranhão, Tocantins, e Piauí, todos os dados indicam que o nível freático deve ter se mantido elevado, próximo da superfície, provavelmente mantido por regimes sazonais de fortes tempestades que assolavam a região naquele período geológico. Estas tempestades supriam as redes de drenagens intermitentes que transbordavam além das suas margens, capturando caules de samambaias e gimnospermas previamente silicificados que se encontravam caídos sobre a superfície, e transportava-os para o interior dos lagos para o efetivo sepultamento e silicificação. Essas tempestades sazonais recarregavam o freático, mantendo-o, pelo menos sazonalmente em níveis elevados, propiciando igualmente elevação e expansão dos lagos Pedra de Fogo, que retinham água suficiente para permitir o desenvolvimento de vasta vegetação de samambaias e gimnospermas de médio a grande porte, que proliferavam em suas margens (Figura 7).

Figura 7. Paisagem esquemática do paleoambiente deposicional da Formação Pedra de Fogo. A) Superfície lacustre com troncos de madeira boiando, esporadicamente trazidos pelas drenagens efêmeras durante os períodos de inundação, desencadeada por fortes tempestades. B) Planície lacustre úmida colonizada por samambaias e gimnospermas de médio a grande porte. Essas planícies mantinham-se sazonalmente úmidas, possibilitando a proliferação dessas árvores, extraordinários bosques. C-D) Areias, siltes e fragmentos de árvores trazidos pelos rios intermitentes que alimentaram o sistema de lagos Pedra de Fogo.



Fonte: CONCEIÇÃO et al., 2020.

6. Considerações finais

Desde os caules fossilizados em posição de vida, passando pela impressão de delicadas folhas e esteiras microbiais, até ossos e fragmentos de macrofósseis particularmente bem preservados; mostram que a silicificação Pedra de Fogo foi intensa e pervasiva, ocorreu em múltiplas fases, e fundamentalmente sob condições superficiais, penecontemporaneamente aos processos de morte e sepultamento desses grupos de organismos, sendo posteriormente intensificada ao longo de milhões de anos (ANDRADE, 2019).

A disponibilidade de sílica no ambiente foi alta o suficiente para possibilitar limitada degradação molecular dos organismos, constituindo assim um dos mais importantes agentes para a preservação e conservação dos organismos fossilizados, visto que, altos teores de sílica em solução, comprovadamente limitam a degradação de moléculas orgânica. Trabalhos experimentais demonstram que (BUTTERFIELD, 2003; ALLEON et al. 2016), *a priori*, a silicificação pode ser invocada como um importante agente responsável pela proteção e consequente preservação de organismos durante os processos de fossilização, além disso, tal proteção pode persistir durante escalas de tempo geológicas. Assim, processos de silicificação são reconhecidos como janelas de preservação morfológica excepcional de grupos orgânicos.

Toda essa beleza e casualidade geológica pode ser contemplada em diversos pontos do Piauí, particularmente nas pedreiras da região, que frequentemente explotam porções de

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

rochas silicificadas da Formação Pedra de Fogo para construção de calçadas públicas e fachadas de diversas edificações na região de Teresina. Frequentemente, devido ao grande potencial fossilífero desta unidade, muitos desses fragmentos contêm fósseis, ou ainda um registro de atividade biológica, como marcas de pegada, trilhas de rastejos etc. conhecidos como icnofósseis, propiciando, pelo menos para um olhar mais atento e relativamente treinado, um vislumbre da vida na região do Estado do Piauí há pelo menos 300 milhões de anos atrás.

Igualmente fascinante são os muitos caules fossilizados de plantas do período Permiano. Duas expressivas e importantes concentrações desses caules fossilizados que genuinamente representam os pretéritos “bosques permianos” da Formação Pedra de Fogo, ocorrem na região entre os municípios de Araguaína e Filadelfia (TO), denominado Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Tocantins (MNAFTO), e na zona urbana de Teresina, às margens do Rio Poti, no Parque Floresta Fóssil. Infelizmente, o descaso do poder público e a falta de informação da população, renegam essas significativas áreas ao completo abandono e plena degradação.

Assim, as “pedras que produzem fogo”, ou “Pedras de Fogo”, fazem parte da unidade geológica-sedimentar de mesmo nome (Formação Pedra de Fogo), que começou a ser formada em um tempo quase inimaginavelmente longínquo, e apartir do encadeamento de uma complexa sucessão de processos geológicos e geoquímicos que atuaram ao longo de quase três centenas de milhões de anos. Por tanto, as “pedras de fogo” constituem verdadeiros resquícios de uma esplêndida paisagem que existiu durante um período geológico muitíssimo distante de qualquer ancestral humano caminhar sobre a Terra. Esta paisagem existiu no que hoje é o Estado do Piauí.

Referências bibliográficas

ALLEON, J. et al. **Early entombment within silica minimizes the molecular degradation of microorganisms during advanced diagenesis.** Chemical Geology, 437. 98-108, 2016.

ALVES, Y.M. et al. **Palaeoniscoid remains from the Lower Permian Pedra de Fogo Formation (Parnaíba Basin): Insights from general morphology and histology.** Historical Biology, DOI: 10.1080/08912963.2020.17548152020.

ANDRADE, L.S. **Paleoambiente e paleoclima da Formação Pedra de Fogo da Bacia do Parnaíba e sua correlação com os eventos globais de silicificação do Permiano.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém, p.202. 2020.

ANDRADE, L.S. et al. **Evolução de um Sistema Lacustre Árido Permiano, parte Superior da Formação Pedra de Fogo, Borda Oeste da Bacia do Parnaíba.** Geologia USP. Série Científica, 14(4):3-60, 2014.

BUTTERFIELD, N.J., **Exceptional fossil preservation and the Cambrian Explosion.** Integr. Comp. Biol. 43(1), 166–177, 2003.

BLAKELY, R.C. **Gondwana paleogeography from assembly to breakup—A 500 m.y. odyssey.** The Geological Society of America, Special Paper, 441:1-28, 2008.

CISNEROS, J.C. et al. **Captorhinid reptiles from the lower Permian Pedra de Fogo Formation, Piauí, Brazil: the earliest herbivorous tetrapods in Gondwana.** PeerJ 8:e8719 DOI 10.7717/peerj.8719. 2020.

CISNEROS, J.C. et al. **New Permian fauna from tropical Gondwana:** Nature Communications, v. 6, p. 8676, 2015.

CONCEIÇÃO, D.M. et al. **First report of Cordaixylon Grand'Eury in the Permian of South America, Parnaíba Basin, Brazil.** Journal of South American Earth. 101, 2020.

EUGSTER, H.P. **Inorganic bedded cherts from the Magadi area, Kenya.** Contr. Mineral. and Petrol., 22:1-31, 1969.

FARIA JR. e TRUCKENBRODT, W. **Estratigrafia e petrografia da Formação Pedra de Fogo – Permiano da Bacia do Maranhão.** In: SBG, Cong. Bras. Geol., 31, Balneário Camboriú, Anais, 2:740-754, 1980.

FIGUEROA, R.T. & GALLO, V. **New chondrichthyan fin spines from the Pedra de Fogo Formation, Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, 76:389-396, 2017.

FOLK, R.L. & PITTMAN, J.S. **Length-slow chalcedony: a new testament for vanished evaporites.** Journal of Sedimentary Petrology, 41(4):1045-1058, 1971.

FORD, D. & GOLONKA, J. **Phanerozoic paleogeography, paleoenvironment and lithofacies maps of the circum-Atlantic margins.** Marine and Petroleum Geology, 20:249–285, 2003.

GÓES, A.M.O. & FEIJÓ, F.J. **Bacia do Parnaíba.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS, Boletim de Geociências, 8(1):57-67, 1994.

HESSE, R. **Origin of chert: Diagenesis of biogenic siliceous sediments.** Geoscience Canada, 15(3):171-192, 1988.

Iannuzzi, R. et al. **Re-evaluation of the Permian macrofossils from the Parnaíba Basin: biostratigraphic, palaeoenvironmental and palaeogeographical implications.** Geological Society of London, Special Publications, 472, p. 223-249, 2018.

KRAUSKOPF, K.B. **Dissolução e precipitação de silica em baixa temperaturas.** Geochim. Cosmochim. Acta, 10:1–26, 1956.

LOURDEAU, A. **A Serra da Capivara e os primeiros povoamentos sul-americanos: uma revisão bibliográfica.** Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum., Belém, 14, n. 2, 367-398, 2019.

A ORIGEM DAS “PEDRAS DE FOGO” NO ESTADO DO PIAUÍ

MARTIN-BELLO, E. et al. **Lacustrine stromatolites: Useful structures for environmental interpretation – an example from the Miocene Ebro Basin.** Sedimentology. 66, 2098-2133, 2019.

MILLIKEN K.L. **The silicified evaporite syndrome-two aspects of silicification history of former evaporite nodules from southern Kentucky and northern Tennessee.** Journal of Sedimentary Petrology, 49(1):0245-0256, 1979.

PETRYSHYN, V. et al. 2016. **Stromatolites in Walker Lake (Nevada, Great Basin, USA) record climate and lake level changes ~35,000 years ago.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 451. 140-151, 2016.

RICARDI-BRANCO, et al. **Microbial biofacies and the influence of metazoans in holocene deposits of the Lagoa salgada, Rio de Janeiro State, Brazil.** Journal of Sedimentary Research. 88, 1300-1317, 2018.

SANTOS, M.E.C.M. & CARVALHO M.S.S. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB; Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís.** CPRM, Serviço Geológico do Brasil/DIEDIG/DEPAT, Rio de Janeiro, 215 p. 2009.

SCOTESE, C.R., et al. **Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology.** Journal of African Earth Sciences, 28(1):99-114, 1999.

TORSVIK, T. H. et al. **Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics.** Earth-Science Reviews. 114. 325–368, 2012.

VAZ, P.T. et al. **Bacia do Parnaíba.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS, Boletim de Geociências, 15(2):253-263, 2007.

VENNIN, E. et al. **The lacustrine microbial carbonate factory of the successive Lake Bonneville and Great Salt Lake, Utah, USA.** Sedimentology. 66, 165–204, 2019.

Agradecimentos: os autores agradecem PPGG (Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica) da Universidade Federal do Pará (UFPA), ao suporte financeiro concedido pelas as agências de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq no.141968/2016-8) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível (CAPES; 001).

**DESCRÍÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO
(PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ**

**Description of Ex Situ Microbialites From Pedra de Fogo Formation (Permian,
Parnaíba Basin) in the Municipality of Teresina, Piauí**

**Naíde de Lucas da Silva Neta¹, Willian Mikio Kurita Matsumura², Érico
Rodrigues Gomes³**

¹ Graduanda de Gestão Ambiental - IFPI; naide.silva.neta@gmail.com.br; ORCID: 0000-0002-3017-0428

² Universidade Federal do Piauí/UFPI; willian.matsumura@ufpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-4390-8333

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí/IFPI; erico.gomes@ifpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-3017-0428

RESUMO: Os microbialitos são estruturas laminares resultante da ação de microorganismos. São a evidência mais antiga de vida na Terra sendo registrados desde o Eoarqueano. Constituem um importante elemento para análises paleoambientais devido sua dinâmica de crescimento que é influenciada por fatores ambientais sendo possível associar suas variadas formas a determinados ambiente. Este estudo tem por objetivo descrever os microbialitos da Formação Pedra de Fogo (Permiano Inferior) encontrados nas margens do Rio Poti, na Zona Sul do município de Teresina, PI. O material foi coletado às margens do Rio Poti na zona sul do município. O material melhor preservado foi separado quanto a sua morfologia em colunares, pseudocolunares, domal, oncocídes e esteiras. Entre o material pode ser observado diversos tipos de lamination, mostrando ciclos repetidos que podem indicar sazonalidade ambiental. As análises das variações verticais das bandas de crescimento mostraram uma ciclicidade ambiental com momentos de maior luminosidade representado por bandas mais largas e momentos de menor intensidade demonstrado por bandas mais curtas. A escassez de pesquisa sobre estes fósseis na unidade ressalta a relevância deste estudo na contribuição da compreensão do paleoambiente desta região, servindo também como fonte de dados para futuros trabalhos na área.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba. Icnofósseis. Microbialitos. Pedra de Fogo. Permiano.

ABSTRACT: Microbialites are laminar structures resulting from the action of microorganisms. They are the oldest evidence of life on Earth being recorded since the Eoarchean. They are an important element for paleoenvironmental analysis due to their growth dynamics that are influenced by environmental factors, making it possible to associate their various forms to certain environments. This study aims to describe the microbialites of the Pedra de Fogo Formation (Lower Permian) found on the banks of the Rio Poti, in the South Zone of the municipality of Teresina, PI. The material was collected on the banks of the Rio Poti in the southern part of the city. The best-preserved material was separated according to its morphology into columnar, pseudocolumnar, domal, oncoid and mats. Among the material, several types of laminations can be observed, showing repeated cycles that may indicate environmental seasonality. The analysis of the vertical variations of the growth bands showed an environmental cyclicity with moments of greater luminosity represented by wider bands and moments of lower intensity shown by shorter bands. The scarcity of research on these fossils in the unit highlights the relevance of this study in contributing to the understanding of the paleoenvironment of this region, also serving as a source of data for future work in the area.

Keywords: Ichnofossils. Microbialites. Parnaíba Basin. Pedra de Fogo Formation. Permian.

1 Introdução

Os microbialitos são estruturas organosedimentares formados a partir do acúmulo e aprisionamento de partículas sedimentares por comunidades microbianas. Neste termo estão inseridos os estromatólitos, trombólitos e outras estruturas similares. Os microorganismos que formam essas estruturas são em maioria bactérias, como cianobactérias e algas. A construção dessas estruturas é feita durante o crescimento microbiano onde células superficiais e substâncias extracelulares interagem com os minerais do meio (BURNE & MOORE, 1987; NUTMAN es al., 2016).

Essas estruturas estão entre os registros mais antigos de vida preservada na Terra e são o testemunho de um importante evento para a proliferação da vida pluricelular, a inserção do O₂ em grandes quantidades no meio ambiente, ocasionando um momento de transformação da composição química do ambiente marinho e atmosférico (HOFMANN, 1973; RIDINS, 2011; TEWARI & SECKBACH, 2011).

Estromatólitos são edifícios calcários que se formam pelo aprisionamento de partículas de carbonato por cianobactérias, que capturam o sedimento dissolvido na água através do biofilme que produzem. Essas estruturas tiveram maior proliferação durante a Era Proterozóica e seu declínio ocorreu provavelmente por predação. Esses edifícios biogênicos são caracterizados principalmente pela formação de lâminas que variam entre escuras e claras ao longo do perfil e possuem um formato variado que está ligado ao ambiente em que se encontram. Por este motivo são bastante importantes para estudos paleoambientais, podendo utilizá-los para mapear antigas áreas litorâneas e encontrar antigas atividades biológicas (HOFMANN, 1973; SILVA E SILVA 2002; IANUZZI & VIEIRA, 2005; SRIVASTAVA, 2004; SALLUM FILHO & FAIRCHILD, 2005).

Esses fósseis são encontrados em diversas partes do globo e atualmente ainda podem ser encontrados, como os que ocorrem em Shark Bay (Figura 1), na Austrália e no Brasil na Lagoa Salgada, no Rio de Janeiro. Cada morfotipo pode determinar uma característica do ambiente (LOGAN et el., 1964).

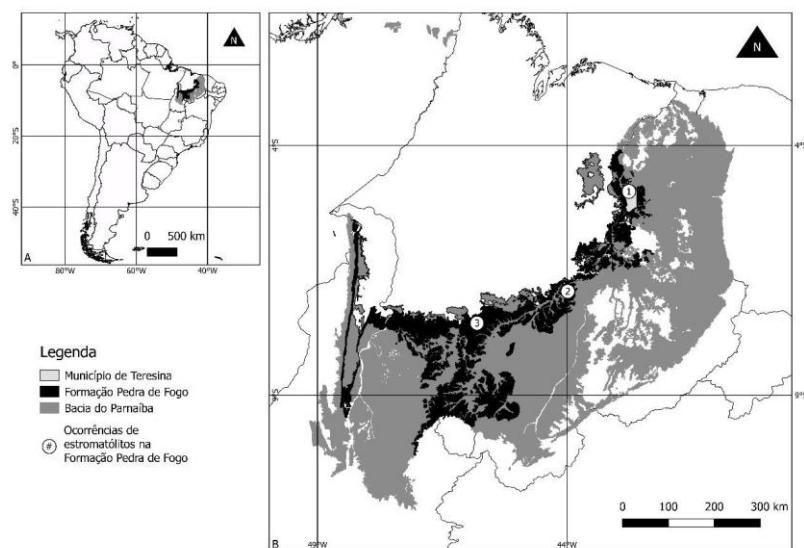
Figura 1 – Estromatólitos atuais na bacia de Shark Bay, Austrália.



Fonte: Kristina D.C. Hoeppner, 2014

Embora a Bacia Sedimentar do Parnaíba seja rica em registros fossilíferos, por muito tempo apenas dois registros de microbialitos foram encontrados: um em Balsas e o outro em Riacho Salobro, ambos na Formação Pedra de Fogo, no estado do Maranhão (Figura 2) (PLUMMER, et al., 1948; FARIA Jr & TRUCKENBRODT, 1980).

Figura 2 – Ocorrências de estromatólitos na Bacia Sedimentar do Parnaíba.



Legenda: A) Localização da Bacia do Parnaíba na América do Sul e na Região Meio-Norte do Brasil; B) Localização da Formação Pedra de Fogo na Bacia do Parnaíba com as ocorrências de estromatólitos: 1 - Teresina, PI; 2- Balsas, MA (PLUMMER et al., 1948); 3- Benedito Leite, MA (FARIA Jr & TRUCKENBRODT, 1980).

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

Este trabalho apresenta uma nova ocorrência de estromatólitos (SILVA NETA et al., 2017). Outros registros para esta formação foram mencionados nos trabalhos de Ianuzzi et al., (2018) e Abrantes et al., (2019). Estes novos dados paleontológicos ampliam o registro fossilífero da unidade geológica, ajudando a entender o paleoambiente que existiu na região.

2 Contextualização

2.1 Microbialitos

Os microbialitos são estruturas sedimentares microbianas induzidas, formadas a partir da atividade de microorganismos. Por ser uma estrutura gerada a partir da atividade de um organismo, é designada como um icnofóssil. Devido a divergências na comparação dessas estruturas com os demais icnofósseis (pegadas, escavações, rastros, ovos, coprólitos e outros) foi criado o termo microbialito, compreendendo todos os depósitos carbonáticos formados por microorganismos bentônicos (SRIVASTAVA, 2010).

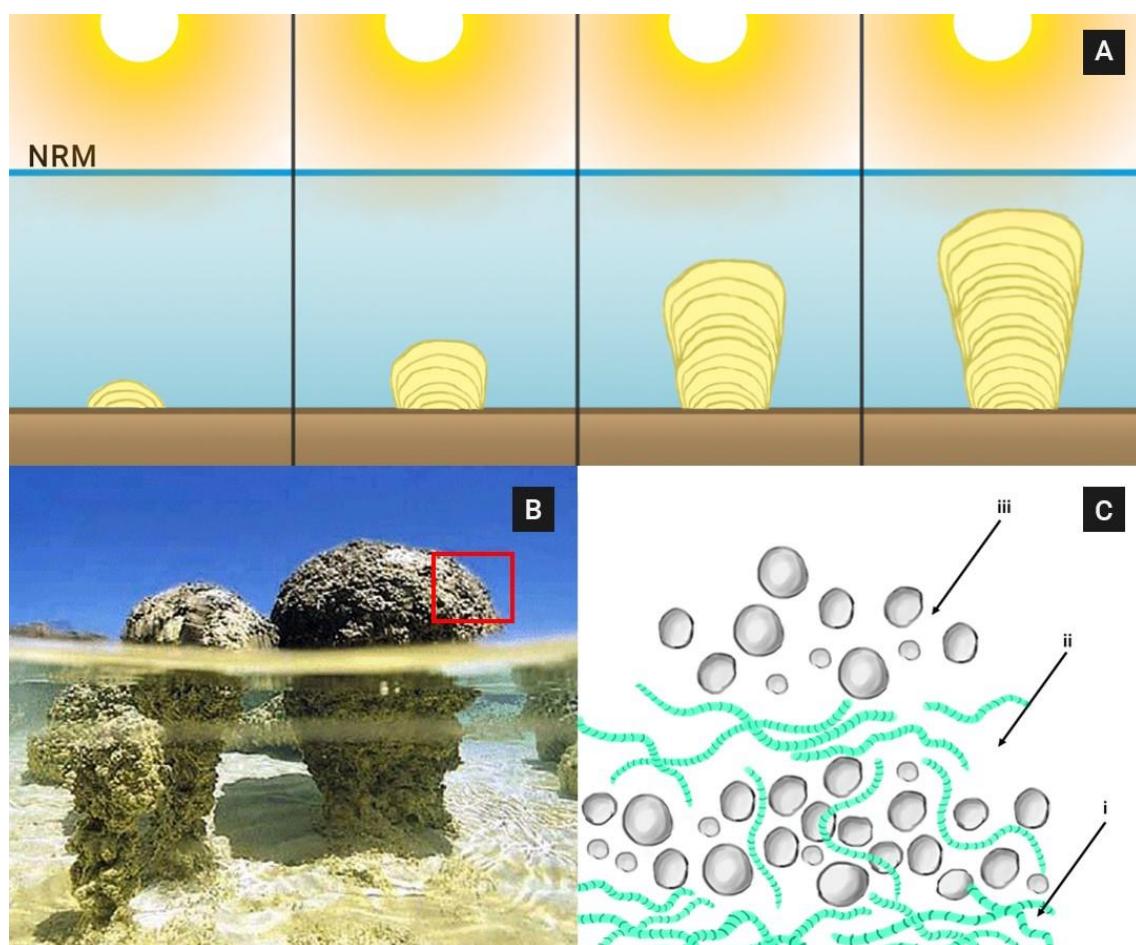
Iannuzzi & Vieira (2005) denominaram os estromatólitos como sendo edifícios calcários formados do aprisionamento de partículas de carbonato por cianobactérias. Segundo Awramik et al., (1976) os estromatólitos são estruturas organoestruturais produzidas pela captura de sedimentos, ligação e/ou precipitação resultante da atividade metabólica e crescimento de organismos, principalmente algas azul-esverdeadas, podendo sofrer modificações ao longo do tempo por fatores ambientais como erosão, compactação, tectonismos e outros.

A formação dos estromatólitos ocorre por três principais processos: captura do sedimento pelo biofilme das cianobactérias, precipitação orgânica e inorgânica e sobreposição da camada pelos organismos em busca de maior disponibilidade de luz, recomeçando o processo (Figura 3). A litificação do estromatólito também influencia na sua forma (RIDING, 1991). Além disso são necessárias algumas condições para a formação destes, tais como: presença de um substrato, um sistema aberto contendo água, presença de nutrientes, fontes de energia, material que possa ser trapeado ou precipitado, uma população de algas, uma ritmidade que favorece o desenvolvimento das lâminas, litificação, soterramento e consequente preservação do material.

As formas dos estromatólitos estão intimamente ligadas ao ambiente. Sendo assim tem-se formas de esteiras microbianas, dômicos, pseudocolunares, colunares e oncóides (Figura 4) (LOGAN et al., 1964; GERDES & KRUMBEIN, 1994; HOFMANN, 2000; SEMIKHATOV & RAABEN, 2000; FAIRCHILD et al., 2015). Logan *et al.* (1964) também

os classificou relacionando-os com a variação do nível do mar em: hemisferóides lateralmente ligados (LLH - esteiras) na região supralitoral, protegida da ação das ondas, hemisferóides empilhados (SH - colunares) na região de intermaré, de maior energia, e esferoides (SS - oncólitos) no sub-litoral, em áreas permanentemente submersas. Podendo haver também a combinação entre as formas LLH e SH.

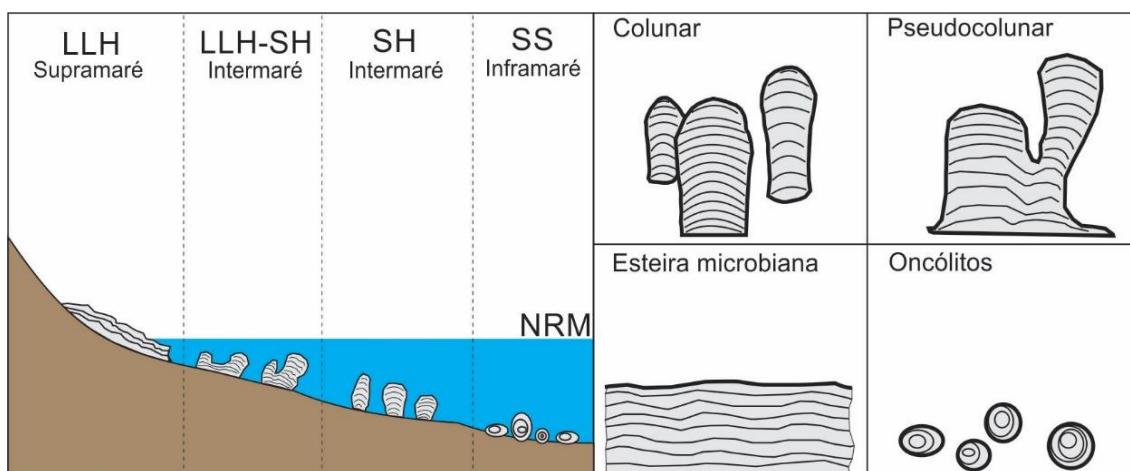
Figura 3 – Processo de formação de um estromatólito do tipo colunar.



Legenda: A- Crescimento de um estromatólito do tipo colunar; B – Estromatólito colunar atual em Shark Bay, Austrália; C- Etapas do crescimento das camadas do estromatólito onde i) é a precipitação orgânica e inorgânica das partículas; ii) é o aprisionamento das partículas pelo biofilme das cianobactérias; iii) é a sobreposição da camada anterior pelas cianobactérias em busca de luz para suas atividades metabólicas. Fonte estromatólito atuais: mindat.org (<https://www.mindat.org/loc-272738.html>).

DESCRÍÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

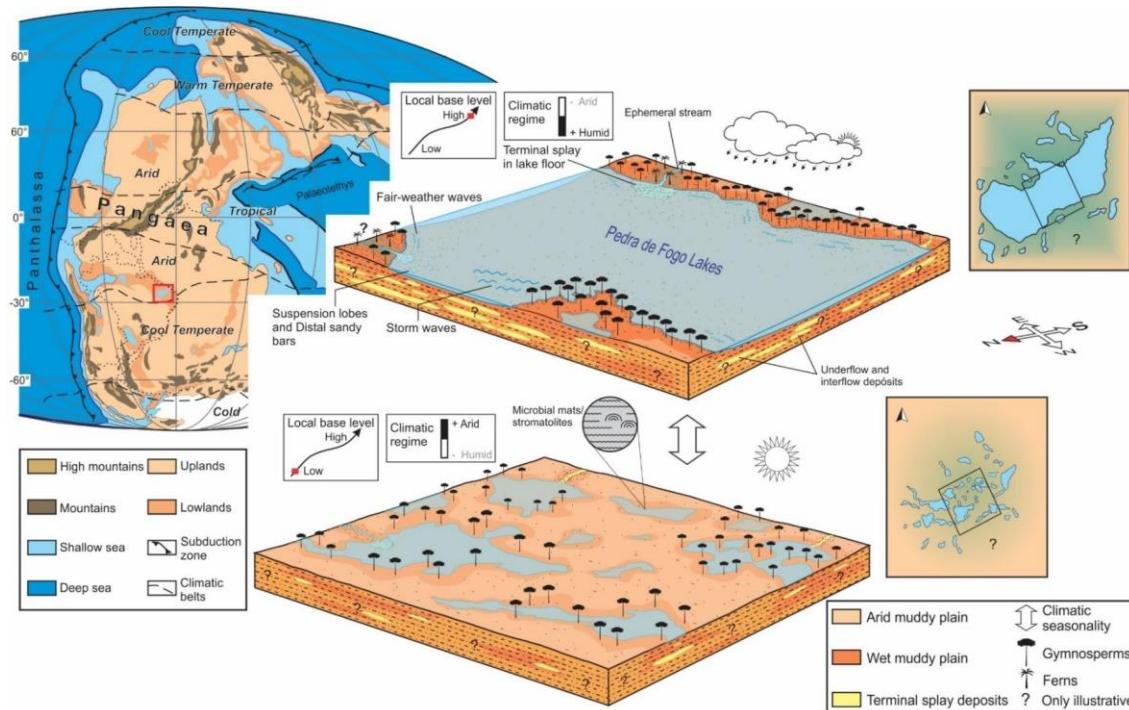
Figura 4 – Morfotipos de estromatólitos e áreas de ocorrência.



Legenda: NRM (nível do mar), modificado de Logan et al., 1964

Para Andrade et al., (2014), embora a formação Pedra de Fogo seja interpretada como sendo depósitos flúvio-deltáicos de transição com ambiente marinho pouco profundo, existia um sistema lacustre de clima árido com campos de dunas eólicas e *sabkha* continental. Esse sistema diverso era alimentado por rios e tempestades na região. O sistema lacustre da Formação Pedra de Fogo foi caracterizado por momentos de aumento e diminuição do espaço de acomodação com alta taxa de degradação resultando em constantes mudanças na profundidade da água e alterações paleogeográficas (ARAÚJO et al., 2016). Abrante et al., (2019) e Ianuzzi et al., (2018) também discutiram sobre o paleoambiente da formação Pedra de Fogo chegando à conclusão de que, com base no tipo de fósseis encontrados e com os dados da geologia, o ambiente foi muito mais úmido do que se esperava, com a formação de grandes lagos, permitindo não só crescimento de plantas de grande porte como a manutenção de uma diversificada fauna nestes ambientes. Foi ao redor destes lagos salinos que os estromatólitos cresceram, influenciados pelos ciclos de cheia e seca dessa região (Figura 5).

Figura 5 - Sistema lacustre da Formação Pedra de Fogo (SLPF). Modelo paleoambiental. Sob um regime de sazonalidade climática, o SLPF teve flutuações periódicas em seu nível, com consequente expansão e contração de suas margens, em resposta às condições climáticas: mais úmido (A) e mais árido (B), respectivamente. Da mesma forma, taphoflora proliferou nos períodos mais úmidos quando eventos de enchentes reativaram os sistemas fluviais efêmeros que abasteciam os lagos (A) e foi suprimida nos períodos mais secos (B).



Nota: No canto superior esquerdo, o quadrado vermelho posiciona o SLPF no contexto paleogeográfico e paleoclimático do início do Permiano. Mapa paleogeográfico modificado de Warren (2017). Fonte: ANDRADE, 2019.

2.2 Contexto geológico

A Bacia do Parnaíba, também conhecida como Bacia do Maranhão ou Bacia do Meio Norte, está localizada na porção noroeste do nordeste brasileiro e abrange uma área de cerca de 600.000 km², recobre em maior parte os estados do Maranhão e Piauí, centro-norte do Tocantins e em menor parte no Ceará. Possui cerca de 3.500m de espessura e seu preenchimento dá-se por sedimentos principalmente siliciclásticos, calcários e evaporitos (SANTOS & CARVALHO, 2004; VAZ et al., 2007). É formada por três super sequencias, a Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé) e a Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas). Ao trabalho em questão a área de maior interesse é a Formação Pedra de Fogo, contexto sobre o qual a cidade de Teresina está inserida em sua maior parte.

A Formação Pedra de Fogo (FPF), unidade geológica que contém os microbialitos (*estromatolitos ex situ*) estudados, integra o Grupo Balsas (neocarbonífero-eotriássico), juntamente com as formações Piauí, Motuca e Sambaíba, as quais ocorrem nas regiões centro-sul, oeste e leste-nordeste da Bacia do Parnaíba (VAZ et al., 2007). As litologias deste grupo registram a progressiva desertificação da Bacia do Parnaíba, resultante da continentalização do mega continente Pangéia (GÓES et al., 1990).

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

A Formação Pedra de Fogo (Permiano) registra uma expressiva sedimentação siliclástica-evaporítica depositada num sistema lacustre raso. É constituída principalmente de pelitos intercalados com camadas de arenitos finos a médios. Destaca-se pela ocorrência expressiva de sílex, tendo subordinadamente, conglomerados, evaporitos e carbonatos. O topo desta formação é caracterizado pela presença de *Psaronius*, constituindo um importante guia bioestratigráfico (ARAÚJO et al., 2016).

A diversidade paleontológica da Formação Pedra de Fogo, tanto faunística como florística, inclui peixes, anfíbios, microbialitos e plantas fossilizadas (Mesner & Wooldridge, 1964; Aguiar, 1971; Lima & Leite, 1978; Coimbra & Mussa, 1984; Mussa & Coimbra 1987; Caldas et al., 1989; Cox & Hutchinson, 1991; Santos, 1994; Martins, 2000; Dino et al., 2002; Rößler & Galtier, 2002a, b; Rößler & Galtier, 2003; Rößler 2006; Santos & Carvalho, 2009; Cisneros et al., 2011; Andrade et al., 2014; Tavares et al., 2014; Cisneros et al., 2015, Araújo et al., 2016; Conceição et al., 2016a, b; Figueroa & Gallo, 2017; Iannuzzi et al., 2018; Abrantes Jr. et al., 2019).

Iannuzzi et al., (2018) baseados nos estudos de macrofósseis (flora e fauna), propuseram uma revisão bioestratigráfica, paleoambiental e paleogeográfica para as Formações Pedra de Fogo e Motuca, sugerindo idades que se enquadram na época Cisuralian, particularmente no Intervalo Artinskiano-Kunguriano. Concluíram que a Bacia do Parnaíba provavelmente fazia parte de uma província biogeográfica distinta, sugerida pelo alto grau de endemismo de suas espécies.

Segundo Andrade et al., (2014), Cisneros et al., (2015), Araújo et al., (2016) e Abrantes Jr. et al., (2019), o paleoambiente da FPF é caracterizado pelo clima dominante semiárido com desenvolvimento de uma pujante fauna e flora no entorno de lagos, alimentados por fluxos energéticos sazonais, inclusive tempestades, que podiam transportar fragmentos vegetais para o seu interior.

3 Metodologia

O material paleontológico foi coletado entre os meses de maio a outubro de 2016 no Programa de Salvamento Paleontológico na obra da Marginal Poti Sul (na margem esquerda do Rio Poti) na Zona Sul do Município de Teresina (Figura 6).

Figura 6- Localização da área de estudo com os pontos de coleta.



Legenda: Área de coleta nas margens do Rio Poti na Zona Sul de Teresina com os pontos de coleta.

O material é proveniente dos rejeitos das escavações dos depósitos aluviais do Rio Poti, constituindo amostras de microbialitos rolados (*ex-situ*) da Formação Pedra de Fogo. A área estudada localiza-se a 2 km do Parque Floresta Fóssil do Rio Poti (QUARESMA & CISNEROS, 2013), reconhecida pela marcante presença de troncos fósseis em posição de vida na mesma formação geológica (LISBOA, 1914; SANTOS & CARVALHO, 2004).

Primariamente o material coletado conforme autorização do Departamento Nacional da Produção Mineral (atual Agência Nacional de Mineração), processo DNPM nº 000.604/2016, levado ao Laboratório de Paleontologia do Centro de Ciências da Natureza (CCN) da Universidade Federal do Piauí (UFPI) para limpeza, descrição e catalogação.

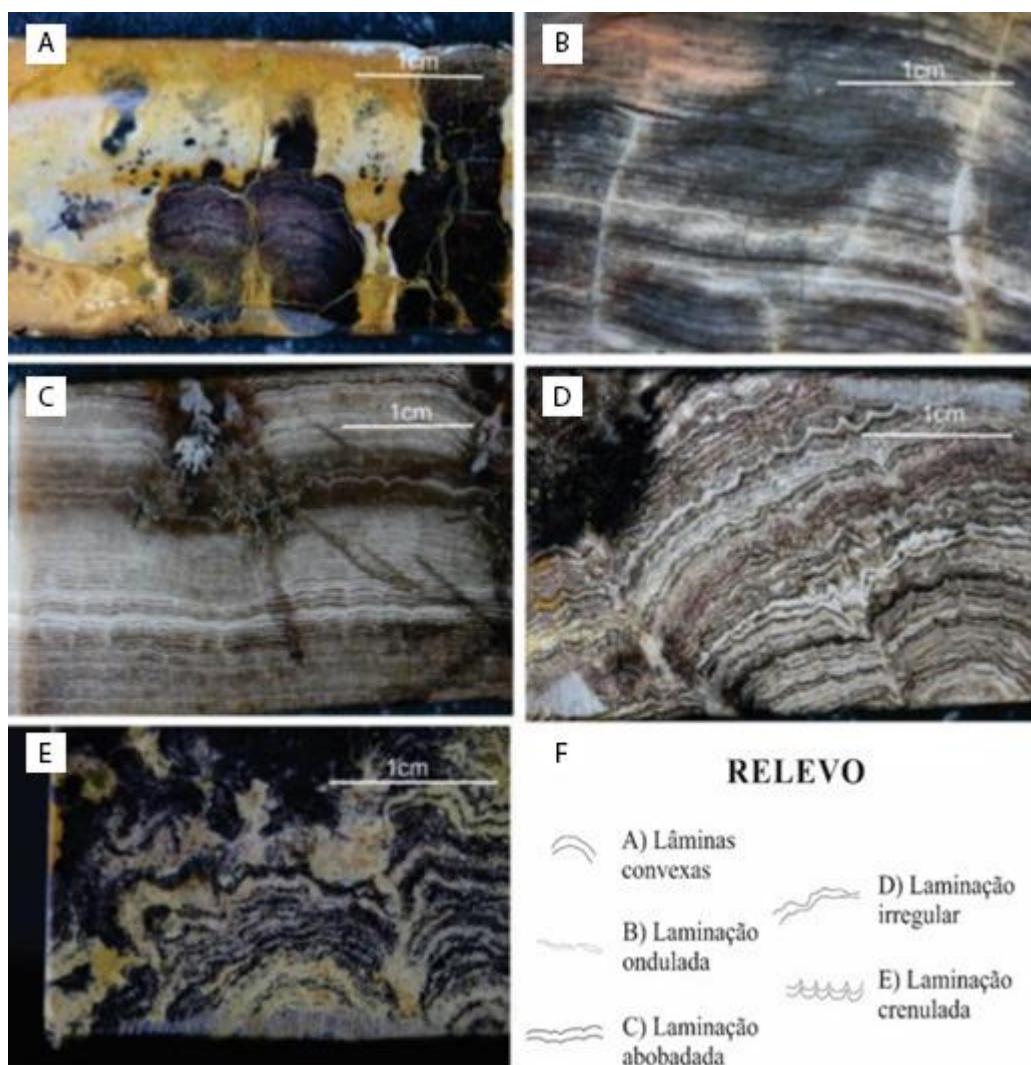
Para este trabalho foram selecionadas 47 amostras de microbialitos (Estromatólitos *ex situ*) mais bem preservados dentre as 141 amostras coletadas e depositadas na Coleção de Paleontologia do Museu de Arqueologia e Paleontologia da Universidade Federal do Piauí sob a sigla UFPI/PIC.

Foram selecionadas e polidas 13 amostras, formando tabletes que tornaram fáceis a observação do relevo das lâminas de crescimento (Figura 7). Os cortes foram realizados com uma serra de disco diamantado no Laboratório de Produção de Lâminas Petrográficas da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), em Teresina, Piauí.

DESCRÍÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

Para identificação dos morfotipos foram utilizados os guias: Preiss (1976), que classificou os estromatólitos de acordo com o tamanho e forma; Logan et al., (1964), que classificaram as formas estromatolíticas relacionando-as com a variação do nível do mar, e Fairchild et al., (2015), um guia de descrição contido na dissertação de mestrado de Sallum Filho (1999). Mesmo com vários estudos na área, a formação de uma classificação binomial para os estromatólitos ainda é controversa, sendo então o modo descritivo a melhor forma de agrupar os variados tipos.

Figura 7 - Tabletes polidos.



Legenda: Tabletes polidos evidenciando as lâminas de crescimento. A – estromatólito colunar com laminação de relevo convexo; B – estromatólito estratiforme com laminação de relevo ondulado; C – estromatólito estratiforme com laminação de relevo abobadado; D – Estromatólito pseudocolunar com laminação de relevo crenulado; E - estromatólito pseudocolunar com laminação de relevo irregular; F – relevo presente nos tabletes polidos.

4 Resultados e Discussão

As feições morfológicas dos estromatólitos encontrados na Formação Pedra de Fogo, constituem um acervo diversificado, sendo identificadas formas colunares, pseudocolunares, estratiformes, oncolitos e domal. Uma primeira descrição objetivou separar as amostras em morfotipos. Foram então identificadas 11 amostras colunares, 8 pseudocolunares, 1 oncóide, 1 domal e 26 estratiformes (Tabela 1).

Tabela 1 – Morfotipos encontrados nos estromatólitos estudados.

MORFOTIPOS	IDENTIFICAÇÃO
Colunar	UFPI/PIC 065.4; 080.5; 080.17; 080.12; 078.1; 081.3; 076.4; 077.9b; 080.21; 080.9
Pseudocolunar	UFPI/PIC 080.2; 083.3; 079.1; 080.14; 076.39; 081.2; 074.14; 078.10
Estratiformes	UFPI/PIC 081.1; 076.40; 075.27; 076.7; 076.46; 076.36; 076.49; 081.6; 076.1; 076.11; 076.12; 084.1; 076.37; 076.42; 076.41; 076.47; 086.3; 76.51; 80.20; 076.9; 076.16; 076.54; 076.3; 076.6; 074.14; 076.21
Oncólito	UFPI/PIC 077.12
Domal	UFPI/PIC 077.7a, b

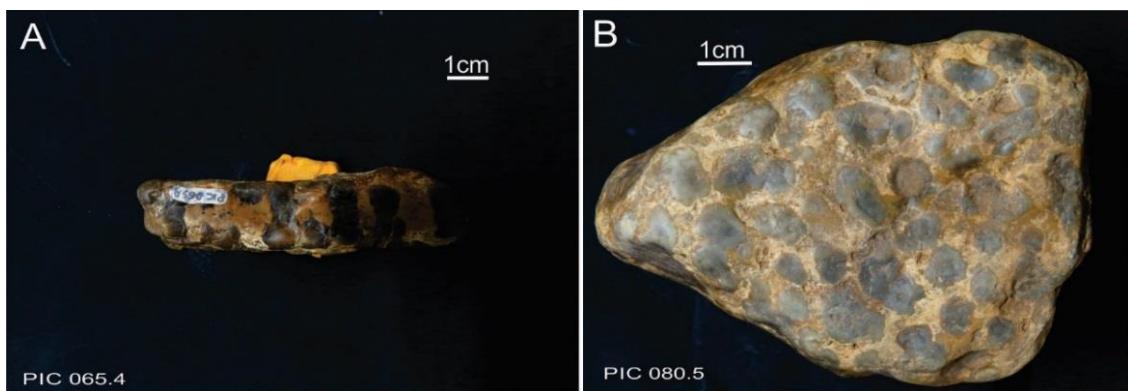
4.2 Colunares

4.2.1 Descrição

As colunas possuem os formatos cilíndrico, turbinar e subcilíndrico variando em tamanho, entre 2 e 4 cm (Figura 8). São contíguos, com laminação uniforme convexa ou imperceptível em alguns. O vetor de crescimento é retilíneo e as vezes inclinado. Em vista transversal, apresentam formato equidimensional a subequidimensional e irregular, essas formas não são encontradas em uma mesma amostra, sendo que as formas irregulares são mais raras. Na maioria das amostras estudadas, a proximidade entre as estruturas colunares é considerada contígua. Não é possível observar a presença de microdiscordâncias. Algumas formas colunares merecem destaque por apresentarem crescimento diferenciado.

Figura 8 - Estromatólitos colunares. Em A) vista lateral. Em B) vista de topo.

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ



4.2.2 Discussão

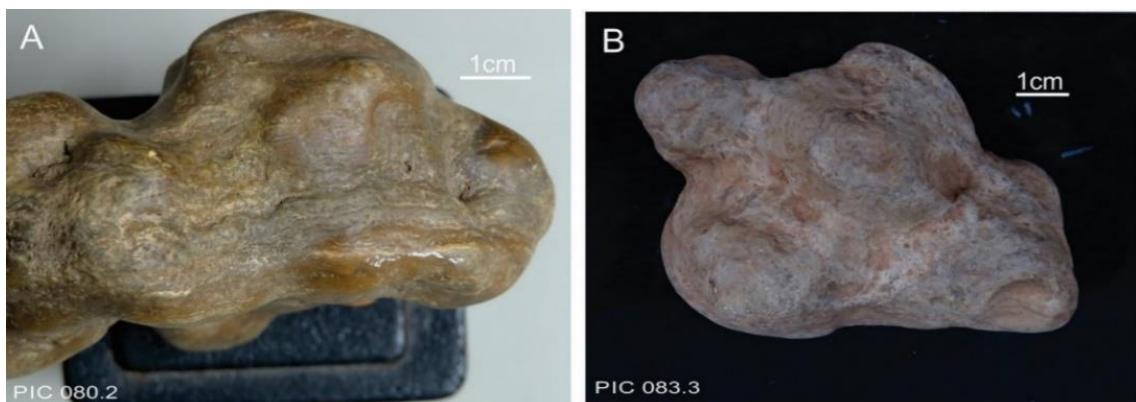
Seguindo a classificação de Logan et al., (1976) e Fairchild et al., (2015) estes estromatólitos são formas colunares do tipo SH. Para Srivastava (2004), provavelmente cresceram em uma região de planície de maré, na região de intermaré. Este tipo de ambiente promove um crescimento isolado das colunas estromatolíticas. O tamanho e diâmetro diferenciado das colunas podem ainda indicar uma competição entre as colônias. A leve mudança no tamanho do crescimento observada em algumas amostras pode ter sido ocasionada pela influência da radiação solar no crescimento das comunidades microbianas que buscam otimizar o acesso à luminosidade.

4.3 Pseudocolunares

4.3.1 Descrição

Os exemplares pseudocolunares (Figura 9) apresentam-se com morfologia bulbosa possuindo estruturas de coalescência que conectam diferentes colunas. Esta característica não está presente nas formas colunares descritas anteriormente. As formas pseudocolunares estudadas possuem laminação evidente com relevo irregular e presença de microdiscordâncias. As lâminas se infletem, mas não recobrem as lâminas anteriores. Em outras amostras, as lâminas são crenuladas de traço laminar côncavo com uma ordem de curvatura moderadamente empilhado e sem microdiscordâncias.

Figura 9 - Estromatólitos Pseudocolunares. Em A) vista lateral. Em B) vista de topo.



4.3.2 Discussão

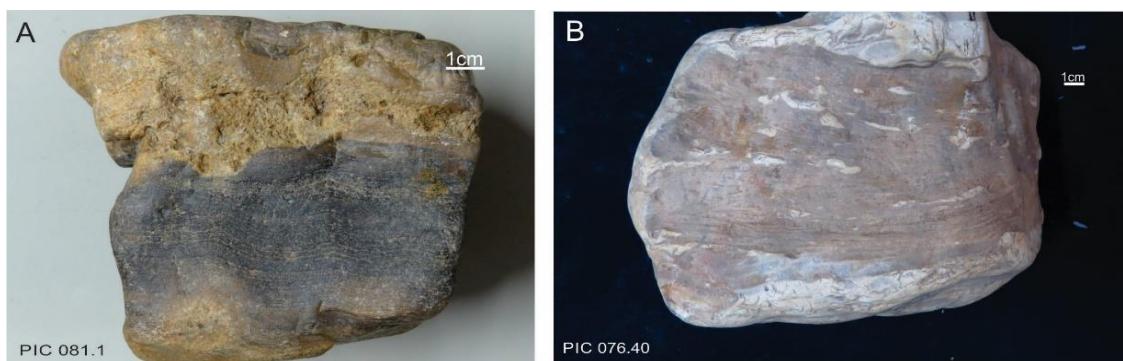
Segundo Logan et al, (1964) este tipo é classificado como LLH-SH e se apresenta em uma área de intermaré um pouco mais afastada das ações das ondas o que lhes permite a formação de áreas de coalescência entre as colunas.

4.4 Estratiformes

4.4.1 Descrição

As formas do tipo estratiformes (Figura 10) possuem laminações horizontais planas abobadadas, ondulada e crenulada que se sobrepõem, sem ou com pouca curvatura indicando uma continuidade lateral. Pode ser observado a mudança de cores entre as lâminas de cinza escuro para claro, sendo mais evidentes em algumas amostras.

Figura 10 - Estromatólitos estratiformes. Em A e B) vista lateral.



4.4.2 Discussão.

A expressiva mudança do relevo sinóptico demonstra grupos em áreas com maior energia que outros (ALTERMAN, 2008) ou ainda mudanças na comunidade que compõe a esteira causando alterações no comportamento da lâmina (ARENAS & POMAR, 2010). Indicam

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

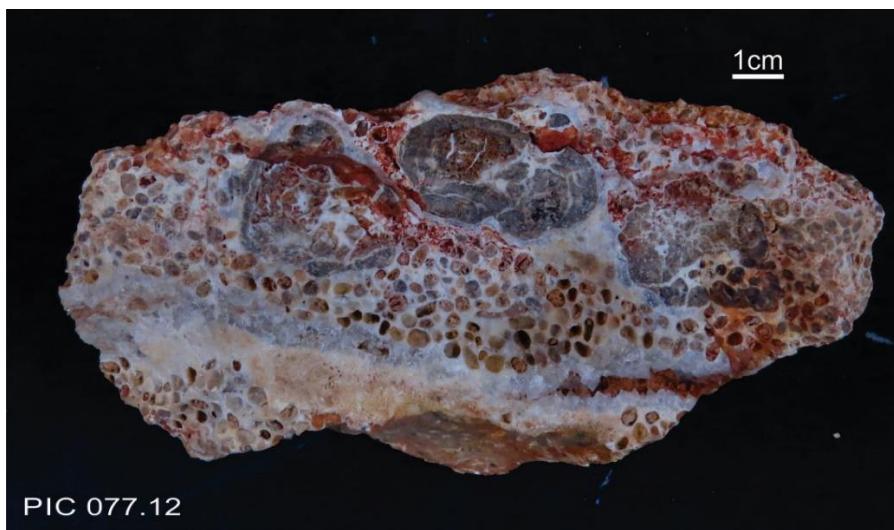
um ambiente de supramaré protegido da ação das correntes. São classificadas por Logan et al., (1964) como sendo do tipo LLH.

4.5 Oncólitos

4.5.1 Descrição

Apenas uma amostra com formas oncólicas foi encontrada (Figura 11). Apresentam formas esférica a elipsóide, cor cinza escura com laminação concêntrica, irregular, parcialmente sobrepostas e não fixa ao substrato oolítico (TUCKER & WRIGHT, 1990).

Figura 11 – Estromatólito Oncóide



4.5.2 Discussão

Este morfotipo forma-se em regiões submersas nas áreas de inframaré, sendo classificado por Logan et al., (1964) como do tipo SS. Este ambiente ainda é influenciado pelas correntes de energia das ondas, possibilitando a movimentação dessas estruturas e permitindo um crescimento concêntrico ao redor do núcleo de incrustação (BADARÓ, 2013). A forma maior apresenta uma transição entre a forma oncóide e dômica.

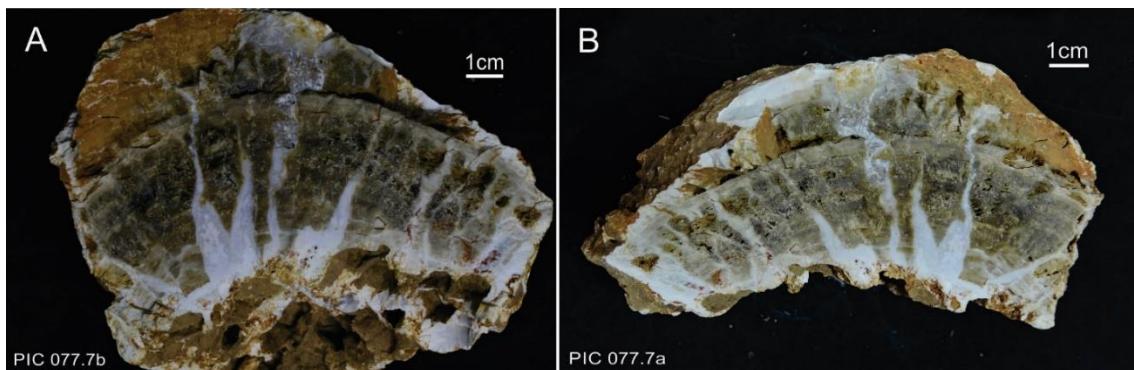
4.6 Domal

4.6.1 Descrição

Apenas uma amostra apresentou a forma hemisférica porosa com um padrão de lâminas que se sobrepõem, convexas, contínuas e lisas, típica forma Domal (Figura 12). As camadas laminares, de cores mais escuras, apresentam-se cortadas por estruturas esbranquiçadas

(preenchimento por sílica) em forma de chama. Tais estruturas são mais espessas na base e afunilam-se em direção ao topo das camadas laminares. As lâminas apresentam relevo expressivo, moderadamente convexo e que molda a forma geral da amostra.

Figura 12 – Estromatólito Domal. Em A e B) vista lateral.



4.6.2 Discussão

As estruturas verticais a subverticais que cortam as camadas laminares da amostra apresentam colocação esbranquiçada e formato tipo chama. Provavelmente trata-se de corpos recristalizados internamente que preenchem algumas áreas fraturadas da rocha. A hipótese de preenchimento recristalizado é ainda reforçado quando se analisa as formas das camadas laminares entre os cortes, onde pode-se notar que há uma continuidade do traço laminar após as áreas preenchidas. O presente material é interpretado como forma domal de microbialitos e não forma colunar. Segundo a metodologia de Logan et al., (1976) e Fairchild et al., (2015) essa forma está ligada a um ambiente marinho pouco profundo e com pequenas agitações de ondas.

5 Considerações Finais

Os microbialitos estão sempre em discussão quando se debate a origem da vida na Terra, sendo então um importante objeto de estudo na compreensão dos fatores ambientais que possibilitaram o surgimento de seres multicelulares. São uma ferramenta para a elaboração de modelos paleoambientais, paleogeográficos e paleoclimáticos. Tais inferências são possíveis, estudando suas formas e padrões de crescimento.

A escassez de estudos sobre este tipo de fóssil na Formação Pedra de Fogo torna importante este tipo de trabalho, ajudando a entender melhor o ambiente de sedimentação

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

auxiliando em uma melhor compreensão da origem e progressão do paleoambiente desta unidade geológica.

Os estromatólitos já encontrados para a formação Pedra de Fogo constituem bioestromas ondulados, domais e colunares com ramificações paralelas, indicativos de condição ambiental muito rasa e exposição subaérea.

Num contexto global, os estromatólitos estão associados ao ambiente marinho costeiro. No entanto, para a formação Pedra de Fogo, os estudos recentes convergem para a existência de um sistema de lagos alimentados por rios efêmeros sob condições climáticas semiáridas a áridas. Neste paleoambiente, proliferaram as algas que formaram as estruturas dos estromatólitos estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES JR, F. R., NOGUEIRA, A. C. R., ANDRADE, L. S., BANDEIRA, J., SOARES, J. L., MEDEIROS, R. S. P. **Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangaea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin, Northern Brazil**: Journal of South American Earth Sciences, v. 93, p. 294-312. 2019.

AGUIAR G.A. **Revisão geológica da Bacia Paleozóica do Maranhão**. In: SBG, 25º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, Anais..., v. 3, p. 113-122. 1971.

ALTERMANN, W. Biosignatures: Morphological biosignatures accretion, trapping and binding of sediment in archean stromatolites – morphological expression of the antiquity of life. **Journal space Science review**, v. 135, 2008.

ANDRADE, L. S., NOGUEIRA, A. C. R., SILVA, JUNIOR, J. B. C. **Evolução de um sistema lacustre árido Permiano, parte superior da Formação Pedra de Fogo, borda oeste da Bacia do Parnaíba**. Geologia USP, Série Científica, 14:39-60. 2014.

ANDRADE, L. S. Paleoambiente e paleoclima da formação Pedra de Fogo da Bacia do Parnaíba e sua correlação com os eventos globais de silicificação. **Tese de Doutorado**, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

ARAUJO-NETO, R.; NOGUEIRA, A. C. R. & ANGÉLICA, J. B. R. S. Shallow lacustrine system of the Permian Pedra de Fogo Formation, Western Gondwana, Parnaíba Basin, Brazil, **Journal of South American Earth Sciences**, v. 67, p. 57-70, 2016.

ARAUJO, R. N., NOGUEIRA, A. C. R., BANDEIRA, J., ANGÉLICA, R. S. **Shallow lacustrine system of the Permian Pedra de Fogo Formation, Western Gondwana, Parnaíba Basin, Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, 67:57-70. 2016.

Naíde de Lucas da Silva Neta, Willian Mikio Kurita Matsumura, Érico Rodrigues Gomes

ARENAS, C. & POMAR, L. Microbial deposits in Upper Miocene carbonates, Mallorca, Spain. **Paleogeography, Paleoceanography, Paleoecology**, v. 297, p. 465-485, 2010.

BADARÓ, V. C. S. **Paleobiologia e contexto deposicional de microbialitos silicificados da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) no centro do estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, p. 107, 2013.

BURNE, E. V. & MOORE, L. S. Benthic Microbial Communities. **Palaios**, v. 2, p. 241-254, 1987.

CALDAS, E. B.; MUSSA, D.; LIMA FILHO, F. P. G. & RÖSLER, O. Nota sobre a ocorrência de uma floresta petrificada de idade permiana em Teresina, Piauí. **Boletim IG-USP, Publicação Especial**, v. 7, p. 69-87. 1989.

COX, C. B., HUTCHINSON, P. **Fishes and amphibians from the Late Permian Pedra do Fogo Formation of northern of Brazil**. Palaeontology, 34, 561-573. 1991

CISNEROS, J.C., ABDALA, F., RUBIDGE, B.S., DENTZIEN-DIAS, P.C., BUENO, A.O. **Dental Occlusion in a 260-Million-Year-Old Therapsid with Saber Canines from the Permian of Brazil**. Science, 331:1603-1605. 2011.

CISNEROS, J. C., MARSICANO, C., ANGIELCZYK, K. D., SMITH, R. M. H., RICHTER, M., FRÖBISCH, J., KAMMERER, C. F., SADLEIR, R. W. **New Permian fauna from tropical Gondwana**. Nature Communications, 6, p. 8676. 2015.

COIMBRA, A. M., MUSSA, D. **Associação lignitoflorística na Formação Pedra de Fogo (Arenito Cacunda), bacia do Maranhão, Piauí, Brasil**. In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, **Anais**, v. 2, p. 591-605. 1984.

CONCEIÇÃO, D. M., ANDRADE, L. S., CISNEROS, J. C., IANNUZZI, R., PEREIRA, A. A., MACHADO, F. C. **New petrified forest in Maranhão, Permian (Cisuralian) of the Parnaíba Basin, Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, 70:308-323. 2016a.

CONCEIÇÃO, D. M., CISNEROS, J. C., IANNUZZI, R. **Novo registro de floresta petrificada em Altos, Piauí; relevância e estratégias para geoconservação**. Pesquisas em Geociências, 43:311-324. 2016.

DINO, R., ANTONIOLI, L., BRAZ, S. M. N. Palynological data from the Trisidela member of upper Pedra de Fogo Formation (—Upper Permian) of the Parnaíba Basin, northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 3(1): 24-35. 2002.

DOLIANITI, E. Vegetais fósseis da Bacia Tocantins- Araguaia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 34, n. 4, p. 477-481, 1962.

FAIRCHILD, T. R.; ROHN, R. & DIAS-BRITO, D. **Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente: um atlas**. Rio Claro, SP: IGCE/UNESP. p. 386. 2015.

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

FARIA Jr, L. E. C. & TRUCKEBRODT, W. Estromatólitos na Formação Pedra de Fogo, Permiano, Bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Balneário de Camboriú, **Anais** de resumos, Balneário de Camboriú, SBG, v.5, p. 3.056-3.067, 1980.

FIGUEROA, R. T., GALLO, V. New chondrichthyan fin spines from the Pedra de Fogo Formation, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 76:389-396, 2017.

GERDES, G.; KRUMBEIN, W. E. Peritidal potential stromatolites – A synopsis. In: BERTRAND- SARFATI, J. & MONTY, C. (eds.). **Phanerozoic Stromatolites II**. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, p. 101-129. 1994.

GÓES, A. M. O., SOUZA, J. M. P., TEIXEIRA L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 4:55-64. 1990.

HOFMANN, H. J. Stromatolites: characteristics and utility. **Earth Science Reviews**, v. 9, p. 339-373. 1973.

HOFMANN, H. J. Archean stromatolites as a microbial archives. In: RIDING, R. E. & AWARAMIK, S. M. **Microbial sediments**. Heidelberg, Springer-Verlag, p.315-327. 2000.

IANNUZZI, R. & VIEIRA, C. E. L., **Paleobotânica**. Rio Grande do Sul. UFRGS. p. 168. 2005.

IANNUZZI, R. & LANGER, M.C. The presence of Callipterids in the Permian of Northeastern Brazil: stratigraphic and phytogeographical implications. In: ROCHA, R., PAIS, J., KULLBERG, J.C. & FINNEY, S. (Eds.), **STRATI 2013-First International Congress on Stratigraphy: at the Cutting Edge of Stratigraphy**. Springer Geology Series, p. 403-406, 2014.

IANNUZZI, R., NEREGATO, R., CISNEROS, J. C., ANGIELCZYK, K. D., RÖBLER, R., ROHN, R., ARSICANO, C., FRÖBISCH, J., FAIRCHILD, T., SMITH, R. M. H., KURZAWE, F., RICHTER, M., LANGER, M. C., TAVARES, M. V., KAMMERER, C. F., CONCEIÇÃO, D. M., PARDO, J. D., ROESLER, G. A. **Re-evaluation of the Permian macrofossils from the Parnaíba Basin: biostratigraphic, palaeoenvironmental and palaeogeographical implications**. Geological Society, London, Special Publications, 472, 223-249, 2018.

LIMA, E. A. A, LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia do Parnaíba: integração geológico metalogenética**. Relatório final, DNPM/CPRM, Recife, p. 437, 1978.

LISBOA, M.A.R. Permian geology of northern Brazil. **American Journal of Science**, v. 37, n.221, p. 425-443, 1914.

LOGAN, B. W.; REZAK, R. & GINSBURG, R. N. Classification and environmental signification of algal stromatolites. **Journal of Geology**, v. 72, n. 1, p. 68-83, 1964.

MARTINS R.A. **Fósseis de vegetais da Formação Pedra de Fogo: aspectos taxonômicos, mineralogia e composição química**. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 92 p. 2000.

Naíde de Lucas da Silva Neta, Willian Mikio Kurita Matsumura, Érico Rodrigues Gomes

MESNER, J. C., WOOLDRIDGE, L. C. Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácea do Maranhão. **Boletim técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, 7 (2): 137-64, abril/junho. 1964.

MUSSA, D., COIMBRA, A. M. **Novas perspectivas de comparação entre as tafofloras permianas (de lenhos) das bacias do Parnaíba e do Paraná**. In: SBP, Cong. Bras. Paleontologia, 10, Rio de Janeiro, Anais, 2:901-923. 1987.

PLUMMER, F. B., Estados do Maranhão e Piauí. In: BRASIL, Conselho Nacional do Petróleo. **Relatório de 1946**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional do Petróleo. 1948.

PREISS, W. V. Basic field and laboratory methods for the study of stromatolites. In WALTER, M. R. **Stromatolites**. Elsevier, Amsteerdam, p. 5-13. 1976.

QUARESMA, R. L. S. & CISNEROS, J. C. O Parque Floresta Fóssil do Rio Poti como ferramenta para o ensino de paleontologia e educação ambiental. **Terræ**, v. 10, n. 1-2, p. 47-55, 2013.

RIDING, R. Classification of microbial carbonates. In: RIDING, R. **Calcareous algae and stromatolites**. Ed. Berlin: Springer-Verlag. p. 21-51. 1991.

RÖBLER, R. Two remarkable Permian petrified forests: correlation, comparison and significance. In: LUCAS S.G., CASSINIS G., SCHNEIDER J.W. (eds.). **Non-marine Permian biostratigraphy and biochronology**. Geological Society of London, Special Publications, 265, p. 39-63. 2006.

RÖBLER, R., GALTIER J. First Grammatopteris tree ferns from the Southern Hemisphere – new insights in the evolution of the Osmundaceae from the Permian of Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 121:205-230. 2002a.

RÖBLER, R., GALTIER J. Dernbachia brasiliensis gen. nov. et sp. nov. – a new small tree fern from the Permian of NE Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 122:239-263. 2002b.

RÖBLER, R., GALTIER J. The first evidence of the fern Botryopteris from the Permian of the Southern Hemisphere reflecting growth form diversity. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 127:99-124. 2003.

SALLUM FILHO, W. **Análise dos estromatólitos do Grupo Itaiacoca (Proterozoico), ao sul de Itapeva, SP**. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de São Paulo, Dissertação de Mestrado, p. 176, 1999.

SALLUM FILHO, W. & FAIRCHILD, T. R. Estudo comparativo entre estromatólitos do tipo *Conophyton* das faixas Ribeira e Brasília. **Revista do Instituto Geológico**, v. 26, n. 1-2, p. 1-18, 2005.

SALLUM FILHO, W., FAIRCHILD, T.R., ALMEIDA, F. F. M., FRANÇA, D.R. Estromatólitos de Nova Campina e Itapeva, SP. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, Vol.3, Brasil, 2013.

DESCRIÇÃO DE MICROBIALITOS *EX SITU* DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO (PERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA) NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ

SANTOS, M. E. C. M. & CARVALHO, M. S. S. Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. CPRM, Serviço Geológico do Brasil/DIEDIG/DEPAT, Rio de Janeiro, p. 211, 2004.

SANTOS, M. E. C. M., CARVALHO, M. S. S. **Paleontologia das Bacias do Parnaíba, São Luís e Grajaú: Reconstituições paleobiológicas**. In: Serviço Geológico do Brasil, DIEDIG/DEPAT, 215 p. 2009.

SEMIKHATOV, M. A. & RAABEN, M. E. Proterozoic stromatolite taxonomy and biostratigraphy. In: RIDING, R. E. & AWARAMIK, S. M. **Microbial sediments**, Ed. Springer-Verlag, Heidelberg, p. 295-306. 2000.

SILVA E SILVA, L. H. **Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatolíticas da Lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil**, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA NETA, N. L., MATSUMURA, W. M. K., SOUZA, B. O., FRAZÃO, N. L. S. **Descrição de microbialitos da Formação Pedra de Fogo (Permiano, Bacia do Parnaíba) no município de Teresina, Piauí**. XXV Congresso Brasileiro de Paleontologia, Ribeirão Preto, 2017.

SRIVASTAVA, N. K. Estromatólitos. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia**, 2^a ed, Rio de Janeiro, Ed. Interciência, p. 171-195, 2004.

SRIVASTAVA, N. K. Estromatólitos. In: CARVALHO, I. S. **Paleontologia**, 3^a ed, Rio de Janeiro, Ed. Interciência. p. 119-134, 2010.

TAVARES, T. M. V. ROHN, R., RÖBLER, R., NOLL, R. Petrified Marattiales pinnae from the Lower Permian of North-Western Gondwana (Parnaíba Basin, Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, 201:12-28. 2014.

TUCKER, M. E. & WRIGHT, V. P. Carbonate Sedimentology. **Blackwell Science**, Oxford, p. 482, 1990.

VAZ, P. T.; REZENDE, V. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R. & TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. Rio de Janeiro, **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v.15, n.2, p.253-263, 2007.



**DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS*
PIAUHYENSIS, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO
SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL**

**DESCRIPTION OF A NEW PECIMEN OF *QUASIMODICHTHYS*
PIAUHYENSIS FOR THE PASTOS BONS FORMATION (UPPER JURASSIC),
PARNAÍBA BASIN, PIAUÍ, BRAZIL**

**Francisca Raiany Soares de Moura¹, Ana Emilia Quezado
Figueiredo², Daniel Costa Fortier³**

¹Universidade Federal do Ceará; raiansmmoura12@gmail.com ; ORCID: 0000-0002-1638-4606

²Universidade Federal do Piauí; ana.emilia@ufpi.edu.br ; ORCID: 0000-0002-3288-3931

³ Universidade Federal do Piauí; fortier@ufpi.edu.br ; ORCID: 0000-0002-4143-9250

* Autor de Correspondência: raiansmmoura12@gmail.com

RESUMO: O município de Floriano, Piauí, possui uma grande exposição de rochas sedimentares relacionadas à Bacia do Parnaíba, contendo registros de antigas faunas. Entre as unidades geológicas, destaca-se a Formação Pastos Bons que corresponde a um ciclo de sedimentação que compreende a sequência de lagos da margem leste da bacia, de idade Mesojurássico-Neojurássico, ocorrendo o registro dos peixes *Quasimodichthys piauhyensis*. Neste trabalho será analisado um novo espécime de *Q. piauhyensis* proveniente de um afloramento localizado na região da comunidade Taboquinha, 16 km a nordeste da sede de Floriano. O exemplar está depositado na coleção científica do laboratório de Geociências e Paleontologia sob o número LGP-0909, ele possui aproximadamente 514 mm de comprimento padrão. O material referido é de grande importância, pois amplia os registros dessa espécie no Piauí e destaca a importância de novas expedições de trabalho de campo no município de Floriano, PI.

Palavras-chave: Escamas ganóides. Floriano. Mesojurassico. Semionotiformes.

ABSTRACT: The municipality of Floriano, Piauí, has a large exposure of sedimentary rocks related to the Parnaíba Basin, containing records of ancient faunas. Among the geological units, the Pastos Bons Formation stands out, which corresponds to a sedimentation cycle that comprises the sequence of lakes on the east bank of the basin, of Mesojurassic-Neojurassic age, with the registration of the fish *Quasimodichthys piauhyensis*. In this work, a new specimen of *Q. piauhyensis* from a outcrop located in the region of the Taboquinha community, 16 km northeast of the Floriano headquarters will be analyzed. The specimen is deposited in the scientific collection of the Geosciences and Paleontology laboratory under the number LGP-0909, it has approximately 514 mm of standard length. The material referred to is of great importance, as it expands the records of this species in Piauí and highlights the importance of new fieldwork expeditions in the municipality of Floriano, PI.

Keywords: Floriano. Ganoid scales. Mesojurassic. Semionotiform.

1. INTRODUÇÃO

O município de Floriano apresenta uma grande exposição de rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, durante muitos anos inúmeros trabalhos foram realizados com materiais provenientes destes estratos, mas por um intervalo de tempo houve uma redução nas produções e, nos últimos anos, a atenção para afloramentos e fósseis desta região retornou.

Fazendo uma revisão bibliográfica é possível perceber que para flora, já foram encontrados troncos silicificados na Formação Pedra de Fogo (Permiano) e uma assembleia pobre e mal preservada de espécie de esporo e de pólens na Formação Pastos Bons (Jurássico).

Para a fauna de invertebrados temos registro de ostracodes e dos conchostráceos, que foram revisados recentemente por Silva (2021), em que foi possível identificar as espécies *Macrolimnadiopsis paloi* e *Cyzicus (Lioestheria) florianensis*, e os gêneros *Pseudoestheria* e *Asmussia*.

O registro de vertebrados é um pouco mais diversificado, tendo descrições de peixes (Mawsoniidae, Macrosemidae e Semionotidae) e crocodiliano (*Batrachomimus pastosbonensis*), representante único da família Paralligatoridae, grupo anteriormente conhecido exclusivamente na Ásia, também da Formação Pastos Bons (Lima & Campos, 1980; Santos & Carvalho, 2009; Cardoso *et al.*, 2017).

Na Bacia do Parnaíba, os primeiros representantes de vertebrados fósseis são os peixes Chondrichthyes, mas os Osteichthyes constituem os vertebrados aquáticos dominantes durante os últimos 180 milhões de anos. Eles apresentam endoesqueleto ósseo e são divididos em dois grupos: Actinopterygii (nadadeiras raiadas) e Sarcopterygii (nadadeira lobada), os Actinopterygii foram divididos em Chondrostei e Neopterygi (Santos & Carvalho, 2009).

O grupo dos Neopterygii é formado pelos Ginglymodii, que inclui duas linhagens principais: Lepisosteiformes e † Semionotiformes. Durante muito tempo o gênero *Lepidotes* era incluído nos semionotiformes, no entanto, em revisões realizadas por López-Arbarello (2012) notou-se que eles são na verdade lepisosteiformes e não semionotiformes. Em sua diagnose também foi possível observar que o grupo era monofilético e restrito às espécies

DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS PIAUHYENSIS*, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL

encontradas no Eujurássico da Europa Central, com isso sugeriu que as demais espécies descritas para o gênero fossem revisadas.

Lepidotes era um gênero bem representado em formações mesozoicas, sendo encontrado em quase todos os continentes, com exceção da Antártica. Esse gênero ocorre tanto em rochas marinhas quanto continentais e seus registros datam do Neotriásico ao Neocretáceo (Gallo-da-Silva, 1998; Paiva, 2017). No Brasil o gênero era representado por oito espécies encontradas em Bacias do nordeste (Bacias do Recôcavo, Almada, Sergipe-Alagoas, Potiguar, Iguatu e Parnaíba) (Gallo-da-Silva, 1998).

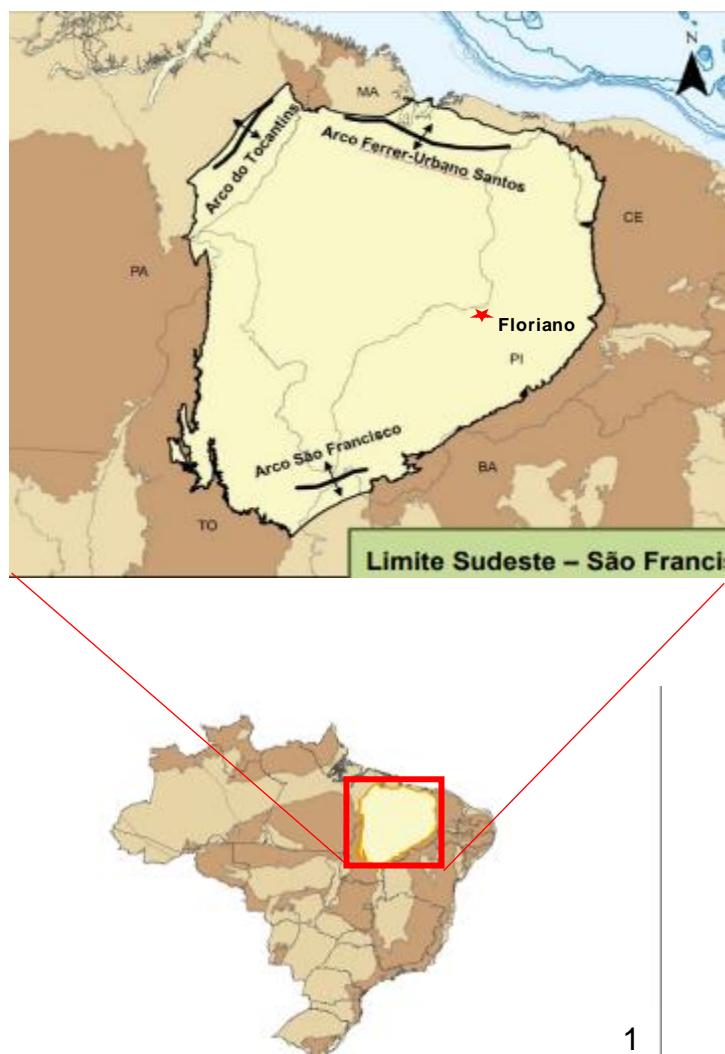
Paiva & Gallo (2018) revisaram a espécie “*Lepidotes*” *piauhyensis*, como havia sido sugerido por López-Arbarello (2012) e descreveram como novo gênero, agora chamado de *Quasimodichthys piauhyensis*. Cardoso *et al* (2018) também fizeram colaborações sobre essa espécie, mostrando que o conteúdo fossilífero de *Quasimodichthys piauhyensis* da Formação Pastos Bons apresenta uma preservação excepcional o que permite caracterizar o afloramento como *Konservat-Lagerstätten*.

Para somar aos dados já mencionados este trabalho teve como objetivo descrever o estado de preservação de um espécime de *Quasimodichthys piauhyensis*, proveniente de um novo afloramento, localizado na comunidade Taboquinha, 16 km a nordeste da sede de Floriano, PI, Formação Pastos Bons, Jurássico Superior, (Oxfordiano) Bacia do Parnaíba.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Parnaíba (Figura 1) possui uma área de 600 000 km² da porção noroeste do Nordeste brasileiro, situando-se nos estados do Maranhão, Piauí e parte dos estados de Tocantins, Pará e Ceará, podendo atingir 3500 m de espessura em sua sucessão de depósitos sedimentares (Santos & Carvalho, 2009; Cardoso *et al.*, 2017).

Figura 1: Mapa da localização da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Vaz *et al.*, 2007.

Na Bacia do Parnaíba as influências continentais e marinhas se alternaram ao longo da história fanerozóica, e nela apresentam substratos e rochas que datam do Siluriano até o Cretáceo (Santos & Carvalho, 2009; Paiva, 2017). Para uma melhor compreensão, a bacia foi dividida em quatro bacias menores com gêneses distintas, que são: Bacia do Parnaíba (Siluriano-Triássico), Alpercatas (Jurássico- Eocretáceo), Grajaú (Cretáceo) e Espigão Mestre (Cretáceo), em seguida definiram a Bacia de Alpercatas como antéclise, composta por rochas provenientes de vulcanismos e as pertencentes às formações Corda e Pastos Bons, demarcadas pelo elemento estrutural Xambioá, de orientação Leste-Oeste (Góes, 1995).

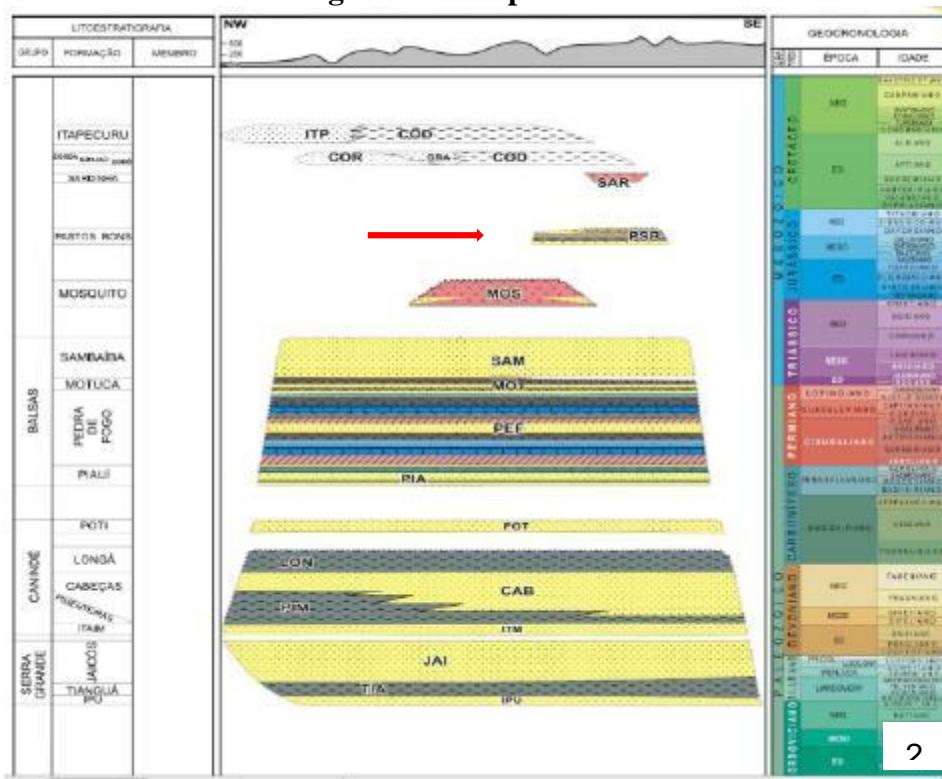
A Formação Pastos Bons é composta de rochas depositadas em ambientes lacustres com contribuição fluvial, com dunas eólicas, definida por alta salinidade e baixa oferta de água e sedimentos, indicativos de clima semiárido a árido de sistema desértico (Santos & Carvalho, 2009).

DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS PIAUHYENSIS*, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL

Na Formação Pastos Bons encontra-se três combinações litotípicas, na parte mais basal predomina arenito branco ou esverdeado, com granulação de fina a média, cuja estratificação é paralela; a porção mediana apresenta siltitos, folhelhos e argilitos de coloração acinzentada a esverdeada, intercalados com arenito e ao topo encontra-se arenitos de coloração avermelhada a rosada, de granulação fina (Vaz *et al.*, 2007; Paiva, 2017).

Quanto a definição da idade da Formação Pastos Bons, existem divergências, onde alguns autores afirmaram ser do Eocretáceo, enquanto outros sugeriram ser do Jurássico, mas em trabalhos mais recente foi definido por Vaz *et al.* (2007) e Petra & Gallo (2012) que a Formação Pastos Bons é a única representante da sequência jurássica (Figura 2) da Bacia do Parnaíba, com sedimentos que datam desde o Calloviano (Mesojurássico) até o Oxfordiano (Neojurássico).

Figura 2: Parte da Carta estratigráfica do depósito Mesozóico da Bacia do Parnaíba



Fonte (Vaz *et al*, 2007).

A Formação Pastos Bons apresenta áreas de exposição relativamente extensas, na região centro-oeste, e abrange desde o rio Itapecuru e afluentes, no estado do Maranhão. No estado do Piauí, apresenta deposições em áreas descontínuas a leste até a cidade de Floriano.

A espessura máxima da formação Pastos Bons é de 77 km (Santos & Carvalho, 2009; Cardorso *et al.*, 2017).

Especificamente para Floriano, o afloramento onde é encontrado todo o material de referência de *Q. piauhyensis* possui 10 m de altura, onde em sua parte superior é composta por folhelhos cinza-esverdeados, calcíferos, com laminação plano-paralela, contendo uma intercalação de folhelhos cinza-escuro a preto e gipsita em associação com conchostráceos e cutículas vegetais (Petric, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material de estudo foi coletado em um novo afloramento, localizado na região da comunidade Taboquinha, 16 km a nordeste da sede de Floriano, Piauí. A coleta foi realizada em março de 2016 pela equipe do Laboratório de Geociências e Paleontologia (LGP) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). O afloramento (Figura 3) foi identificado através de relatos de moradores da comunidade. Após a coleta o espécime foi transportado para o referido laboratório.

Figura 3: Afloramento fossilífero na Comunidade Taboquinha.



No laboratório os espécimes primeiramente receberam números de tombos, logo após

Fonte 3: Nailton Bezerra, 2017.
passaram por processos de preparação, onde foi utilizada punzecas, martelo pneumático, pincéis e outros materiais adaptados, para raspar e retirar o excesso de sedimento dos exemplares. Foi necessário também fazer uso de *paralóid* para fixar algumas escamas que estavam se soltando e para colar o espécime que foi quebrado no momento da retirada da rocha. Para finalizar, o espécime LGP-0909, o mais completo e que será analisado neste

DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS PIAUHYENSIS*, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL

trabalho, foi depositado sobre uma cama de gesso, para que o seu manuseio se tornasse mais adequado.

A identificação do material deu-se utilizando por base descrições iniciais de (Gallo-da-Silva, 1998; Gallo, 2005; Petra, 2006; Santos & Carvalho, 2009), assim foi classificado como *Lepidotes piauhyensis* (Roxo & Lofgren, 1936). Mas, recentemente, López-Arbarello (2012) fez uma revisão do grupo Ginglymodii e em seus resultados encontrou que o gênero *Lepidotes* está restrito as espécies do Eojurássico da Europa Central. Com tal modificação, Paiva & Gallo (2018) realizaram novas análises e descreveram que as espécies pertencentes a Formação Pastos Bons como novo gênero, agora chamado de *Quasimodichthys piauhyensis*. Fazendo o uso da bibliografia citada anteriormente, o espécime LGP-0909 foi atualizado.

4. SISTEMÁTICA PALEONTOLOGICA

OSTEICHTHYES Huxley, 1880

ACTINOPTERYGII Cope, 1871

NEOPTERYGII Regan, 1923.

GINGLYMODI Cope, 1872 (*sensu* López-Arbarello, 2012)

SEMIONOTIFORMES Woodward, 1890 (*sensu* Gallo, 2005)

Quasimodichthys Paiva e Gallo, 2018

Quasimodichthys piauhyensis (Roxo e Löfgren, 1936)

Holótipo: DGM-297-P, exemplar quase completo.

Localidade: Comunidade Taboquinha, 16 km a nordeste da sede de Floriano, Piauí, Brasil.

Estratigrafia: Formação Pastos Bons, Meso-Neojurássico (Calloviano-Oxfordiano) da Bacia do Parnaíba (VAZ *et al.*, 2007).

Material referido. Um exemplar incompleto de *Quasimodichthys piauhyensis*, LGP-0909.

5. DESCRIÇÃO

5.1 Descrição anatômica da espécie

Paiva & Gallo (2018) classificaram a espécie *Quasimodichthys piauhyensis* como um peixe de tamanho médio, conhecido por espécimes que variam entre 75 e 480 mm. Os indivíduos menores têm um corpo fusiforme, enquanto os maiores apresentam o formato

hump-backed (*sensu*, Tintori, 2016). Possuem cabeça triangular que ocupa um quarto do comprimento total do corpo.

O crânio possui ornamentação com tubérculos densos, com padrão variável entre os espécimes. A nadadeira dorsal é mediatamente posterior à elevação predorsal, entre a região pélvica e nadadeira anal. Todas as nadadeiras contêm fulcra franjada. Possuem escamas ganoides, com articulação *peg-and-socket* e processos anteriores bem marcados. As escamas não apresentam ornamentações, no entanto o bordo posterior é marcado por denteações irregulares. Além disso, a forma das escamas varia de acordo com o posicionamento do corpo: os anteriores são retangulares, as mediais são um pouco mais quadradas e as caudais são romboides (Paiva, 2017; Paiva & Gallo, 2018).

5.1 Descrição anatômica do espécime LGP- 0909

5.1.1 Descrição geral do espécime

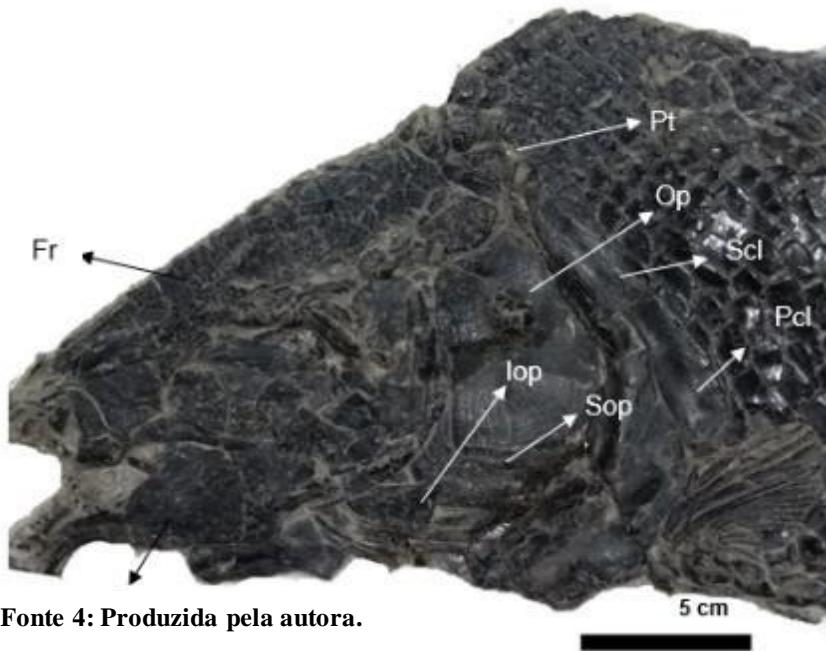
O LGP-0909 está parcialmente completo, faltando apenas as nadadeiras. Mede 514,00 mm de comprimento padrão e 182,00 mm de comprimento da cabeça, esses valores são superiores aos já descritos na literatura. Ele possui o crânio em formato triangular, com ornamentação de tubérculos. Os ossos que formam o *circum-orbital* sofreram uma sobreposição durante o processo tafônomico, dificultando assim a visualização da órbita. O espécime apresenta fragmentos de nadadeiras, mas nenhuma completa. O padrão de escama segue o da espécie, tendo uma modificação de acordo com a posição do corpo do peixe.

5.1.2 Ossos do crânio

O espécime está preservado em vista lateral. Apresenta a cabeça com formato triangular (Figura 4), e nos ossos do teto craniano existe uma grande quantidade de tubérculos dispostos de modo não uniforme. Dos ossos que compõe o teto craniano o frontal (Fr) está bem visível. O frontal é um osso longo, mais largo na porção posterior, tornando-se mais fino gradualmente até a porção anterior, é o maior osso entre os demais do crânio. O parietal (Pa), o extrascapular (Exc) estão parcialmente fragmentados. Não foi possível analisar osso nasal, já que no exemplar LGP-0909 não ficou preservado. O dermopterótico (Dpt), o paraesfenoide (Psf) e toda a porção dos ossos que compõe o anel *circum-orbital* estão presente, no entanto, possivelmente devido a processos tafonômicos não é possível detalha-los, pois houve um embaralhamento dos ossos.

Figura 4: Porção craniana do espécime LGP-0909 *Quasimodichthys piauhyensis*.

**DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS*
PIAUHYENSIS, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO
SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL**



Fonte 4: Produzida pela autora.

5.1.3 Série operculares

Em LGP- 0909 estão preservados todos os ossos que compõe a série opercular. Encontram-se bem visíveis, com exceção apenas do pré-operculo, este encontra-se um pouco fragmentado e em partes coberto por outros ossos do crânio. O opérculo (Op) se descasca entre os outros ossos que compõe a série devido seu tamanho. Ele é o maior osso e com formato retangular. Ele não apresenta tubérculos, como foi notado em outros espécimes comparados na literatura. O subopérculo (Sop) localiza-se posteriormente ao pré-operculo (Pop), anteriormente à cintura escapular e ventralmente ao opérculo. É consideravelmente menor em relação ao opérculo, porém é mais largo. Ele encontra-se muito bem preservado comparado aos demais, apresenta um a três tubérculos. O último componente da série opercular é o interopérculo, um osso liso e triangular, está localizado anteriormente ao subopérculo.

5.1.4 Maxila superior e inferior

Entre os ossos que compõe a maxila superior (pré-maxilar, maxilar e supramaxilar) não tiveram uma boa fossilização. O espécime LGP-0909 não possui estes ossos visíveis, apenas alguns resquícios, possivelmente também foram perdidos nos processos tafonômicos. No entanto, os que compõe a mandíbula estão presentes o dentalesplenial (Dspl) e o angular

(Ang). O dentaloesplenial é consideravelmente o maior osso da maxila, sendo largo na porção posterior e torna-se bem mais estreito na parte anterior. Foram encontrados onze dentes, coronoides, na parte interna do dentalesplenial, sete presos ao detalesplenial e quatro dispersos no sedimento.

5.1.5 Cintura escapular e nadadeiras peitorais

Na cintura escapular (Figura 4) é onde se encontra os ossos que suportam a nadadeira peirotal e fazem conexão com o crânio. Os quatros componentes estão presentes, pós-temporal (Ptp), supracleitro (Scl), cleitro (Cl) e o pós-cleitro (PCl). O cleitro é o menos preservado, o que dificulta sua análise. No pós-temporal observa-se a presença de tubérculos, é um osso pequeno e está muito bem preservado. O supracleitro está localizado posteriormente ao opérculo e ventralmente ao pós-temporal, trata-se de um osso um estreito e longo.

A espécie possui um par de nadadeiras peitorais, onde foi possível analisar apenas um lado, pois o lado oposto está coberto por sedimentos, que não foi retirado por segurança do espécime. Elas estão localizadas posteriormente a cintura escapular sendo encontrado 13-14 raios.

5.1.6 Nadadeiras medianas e caudal

Assim como a nadadeira peitoral, a pélvica é composta por um par, mas sendo visível no exemplar apenas alguns raios incompletos do lado direito. A nadadeira dorsal é ímpar e nos *Q. piauhyenis* ela é fortemente inclinada para trás, posicionada equidistantemente entre as nadadeiras pélvica e anal. Porém, no espécime LGP-0909, estão presentes apenas 10-12 raios, não foram bem preservados como em outros espécimes comparados na literatura. A nadadeira anal do espécime analisado possui 6 fragmentos de raios, mas estão fora do local de origem, possivelmente foram perdidas durante o tempo de exposição na rocha onde o material foi coletado o mesmo possivelmente ocorreu com a nadadeira caudal.

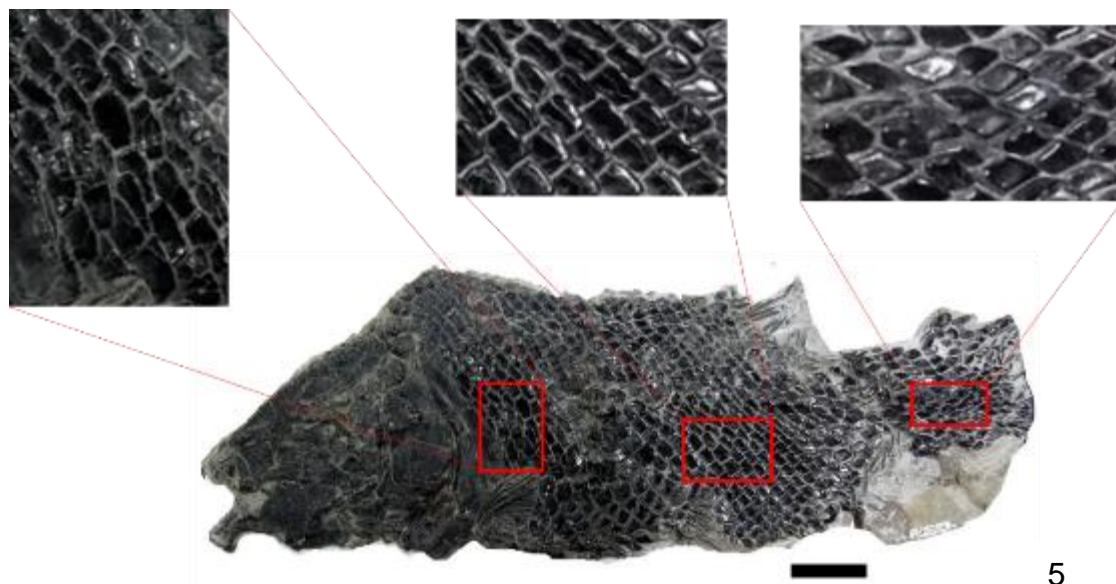
5.1.7 Escamas

O corpo é coberto por escamas ganóides (Figura 5). Elas são cobertas por uma camada de ganoína lisa, apenas na porção anterior, onde ocorre a imbricação das escamas que não é notada a camada de ganoína. Quase todas apresentam uma borda posterior irregularmente denteada, exceto as que ficam próximas à nadadeira anal. É notável também uma mudança no formato das escamas de acordo com a região do corpo. As mais próximas

DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS PIAUHYENSIS*, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO SUPERIOR), BACIA DO Parnaíba, Piauí, Brasil

ao crânio são maiores, com formato retangular, as medianas apresentam forma quadrangular e, as da região posterior, próximo a nadadeira caudal, são menores e com formato retangular.

Figura 5: Espécime LGP-0909 *Quasimodichthys piauhyensis* com destaque no formato das escamas.



Fonte 5: Produzida pela autora.

6. DISCUSSÃO

Comparando as características analisadas no espécime LGP-0909 com os espécimes já descritos na literatura foi possível identificá-lo como *Quasimodichthys piauhyensis*, Roxo e Löfgren, (1936). O mesmo apresenta caracteres suficientes que o enquadram na espécie, dentre essas, o crânio em formato triangular, ossos cranianos coberto por canoína, com destaque da presença de tubérculos em todos os ossos do teto craniano e alguns ossos do *circum-orbital*.

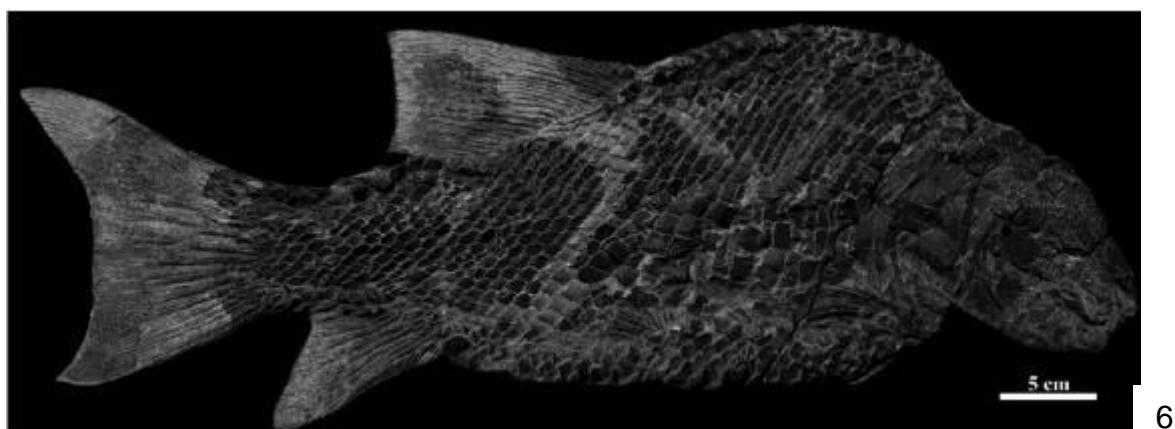
Este espécime apresenta diferenças quando se compara a região do opérculo, pois este apresenta uma grande redução de tubérculos, em que a maioria já descrita, incluindo o holótipo, possui uma quantidade maior dessa ornamentação. Mas, existe uma variação na presença destas ornamentações nos ossos do crânio entre os espécimes, sendo visto mais numeroso e proeminentes na parte superior (Gallo-da-silva, 1998; Paiva, 2017).

Outra característica analisada foi o formato do corpo do animal. Paiva (2017) fez uma descrição ontogenética do material que havia sido coletado em outra expedição e

identificou três estágios (indivíduo juvenil 1, juvenil 2 e adulto). O exemplar aqui descrito, pertence ao estágio adulto, pois apresenta um corpo parcialmente completo, robusto e com detalhe em *hump-backed*, possui escamas com ornamentação em formato de denteações no bordo posterior e seu comprimento é superior a 400 mm.

Um ponto que chamou bastante atenção no LGP-0909, foram os valores morfométricos superiores aos já descritos, inclusive ao do holótipo (Figura 6). O LGP-0909 mede 514,00 mm de comprimento padrão e 182,00 mm de comprimento da cabeça, enquanto que o DGM- 297 apenas 480,00 mm e 136,42 mm. Tal diferença já havia sido observado por Luz *et al* (2016), isto influencia diretamente nos estudos sobre morfologia e anatomia da espécie, já que Paiva & Gallo (2018) classificaram a espécie sendo conhecida por espécimes que variam entre 75 e 480 mm.

Figura 6: *Quasimodichthys piauhyensis* holotype DGM-297-P.



Fonte 6: Paiva, 2017.

Tais dados podem trazer novas informações também sobre o paleoambiente que viveram estes animais, como o espécime estudado no presente trabalho apresenta tamanho superiores aos já descritos, isto pode indicar que seria pertencente a outro paleolago ou que este animal viveu em um momento em que havia uma quantidade de nutrientes elevados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o resultado da análise de López-Arbarello (2012), em que o gênero *Lepidotes* ficou restrito pra o Jurassico Superior da Europa Central, as espécies de *Lepidotes* descritas para as bacias do nordeste brasileiro necessitam de revisões, assim como a espécie descrita para Bacia do Parnaíba que já foi revisada e recebeu novo gênero. Através de estudos com

DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS PIAUHYENSIS*, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL

as outras espécies, será possível saber qual a relação existente entre elas, como também saber o grau de proximidade filogenética.

O exemplar LGP- 0909 foi identificado como *Quasimodichthys piauhyensis* com base nos dados analisados e comparados com espécimes descritos na literatura, incluindo o holótipo da espécie. Devido o material referido neste trabalho está fragmentado, como a nadadeira caudal que está ausente, alguns dados de comparação não puderam ser analisados, mas os mais significativos estão presentes, o que permitiu o estudo.

Foram encontradas algumas diferenças em valores morfométricos, o que pode indicar que o animal chegaria a tamanhos maiores dos quais já foram mencionados na literatura. Para que seja analisado mais detalhadamente essa diferença de tamanho é necessário que seja realizado novas pesquisas, principalmente neste novo afloramento a qual o espécime foi encontrado e assim entender quais eventos proporcionaram esse crescimento.

O registro de novos exemplares para a Formação Pastos Bons é de extrema importância, pois aumentam o número de achados fossilíferos para o Brasil, amplia o conhecimento da paleoictiofauna local e este ainda apresenta dados de um novo ponto fossilífero para o município de Floriano, Piauí, elevando o potencial paleontológico da região.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, Alexandre Ribeiro; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues; ABRANTES, Francisco Romério & RABELO, Cleber Eduardo Neri. **Mesozoic lacustrine system in the Parnaíba Basin, northeastern Brazil: Paleogeographic implications for west Gondwana.** Journal of South American Earth Sciences 74 (2017) 41-53. doi: 10.1016/j.jsames.2017.01.006, 2017.

CARDOSO, Alexandre Ribeiro; ROMERO, Guilherme Raffaeli; OSÉS, Gabriel Ladeira; RABELO, Cleber Eduardo Neri; NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues. **Insights in the preservation of fish fossils from the Muzinho shale, late Jurassic- early Cretaceous of the Parnaíba Basin.** GMGA - Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada - Doi: 10.31419/ISSN.2594-942X.v52018i3a5ARC. 2018b.

Francisca Raiany Soares de Moura¹, Ana Emilia Quezado Figueiredo², Daniel Costa Fortier

GALLO-DA-SILVA, Valeria. **Revisão das espécies do gênero *Lepidotes* Agassiz, 1832 (Actinopterygii, Semionotiformes) do mesozoico do Brasil, com comentários sobre as relações filogenéticas da família Semionotidae.** Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, Phd tese. 1998.

GALLO, Valéria. **Redescription of *Lepidotes piauhyensis* Roxo an Lofgren, 1936 (Neopterygii, semionotiformes, Semionotidae) from the Late Jurassic-Early Creraceous of Brazil.** I Jurnal of Vertebrate Paleontology, v. 25, n. 4, p. 757-769. 2005.

GÓES, Ana Maria. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da bacia do Parnaíba. 171 p. Tese.** (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1995.

LIMA, Murilo Rodolfo & Campos, DIÓGENES de Almeida Campos. **Palinologia dos folhelhos da fazenda muzinho, Floriano, Piauí.** BoI. IG. Instituto de Geociências, USP, V.11:31-189, p. 149-154. 1980.

LISBOA, Miguel Arrojado. **The Permian Geology of Northern Brazil.** American Journal of Science, New Haven, ser. 4, v. 37, n. 221, p. 425-443. 1914.

LÓPEZ-ARBARELLO, Adrina. **Phylogenetic Interrelationships of Gingymodiam Fishes (Actinopterygii: Neopterygii).** *PLoS ONE*, v. 7, n. 7, p. 1-44, 2012.

LUZ, Nailton Bezerra.; MOURA, Francisca Raiany Soares; FIGUEIREDO, Ana Emilia Quezado & FORTIER, Daniel Costa. **Morfometria de um novo espécime de *Lepidotes piauhyensis* (Neojurássico/Eocretáceo, Bacia do Parnaíba, Floriano, PI).** In: Reunião anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia núcleo Nordeste. p. 28. 2016.

PAIVA, Hana Carolina Lins. **Revisão de “*Lepidotes*” *piauhyensis* Roxo e Lofgren. 1936 (Neopterygii, Semionotiformes) e considerações sobre as espécies brasileiras do gênero *Lepidotes*.** Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 166 p. 2017

PAIVA, Hanna. Carolina Lins & GALLO, Valéria. ***Quasimodichthys* gen. Nov. (Neopterygii: Semionotiformes): A morphological and ontogenetic study.** Journal of South American Earth Sciences 88 (2018) 132-143. doi: 10.1016/j.jsames.2018.08.010. 2018.

PETRA, Rafaela. **Paleoictiofauna da Formação Pastos Bons (Bacia do Parníba) – recosntuição paleoambiental e posicionamento cronoestratigráfico.** Programa de pós-graduação, Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 123 p. 2006.

**DESCRIÇÃO DE UM NOVO ESPÉCIME DE *QUASIMODICHTHYS*
PIAUHYENSIS, FORMAÇÃO PASTOS BONS (JURÁSSICO
SUPERIOR), BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL**

PETRA, Rafaela. & GALLO, Valéria. 2012. **Tafonomia da Paleoictiofauna do Jurássico da Bacia do Parnaíba e comparação bioestratinômica com as bacias da América do Sul e África.** P.151-173. In Gallo, V.; Silva, H. M. A.; Brito, P. M. & Figueiredo, F. J. ed. Interciênciac. Rio de Janeiro, 2012. 352p.

SANTOS, Maria Eugenia Carvalho Marchesini & CARVALHO, Marise Sardenberg Salgado. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís.** Rio de Janeiro: CPRM Serviço Geológico do Brasil – DGM/DIPALE. 215p. 2009.

SILVA, Lucieny Raquel Da Costa. **Taxonomia Da Conchostracofauna (Spinicaudata, Crustacea) Da Formação Pastos Bons (Jurássico Superior), Piauí, Brasil.** Dissertação. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 62p. 2021.

VAZ, Pekim Tenório; REZENDE, Nélio das Graças de Andrade da Mata; Wanderley, Joaquim Ribeiro; TRAVASSOS, Walter. Antônio Silva. **Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263. 2007.



UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

A fossil egg in Piauí

Dayanne Abreu^{1,*}, Paulo Victor de Oliveira², Maria Somália Sales Viana³

^{1,*} Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais; dayanneabreusousa@hotmail.com; ORCID: 2016-08-05 to 2018-12-18

² Laboratório de Paleontologia de Picos, Núcleo de Pesquisa em Ciências Naturais do Semiárido do Piauí, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros; victoroliveira@ufpi.edu.br; ORCID: 0000-0002-1841-9999

³ Laboratório de Paleontologia, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Campus Betânia; somalia_viana@hotmail.com; ORCID: 0000-0001-5961-2667

* Autor de Correspondência

Recebido: XX/09/2020; Aceito: XX/10/2020; Publicado: XX/11/2020.

RESUMO: Os sedimentos cretácicos da Bacia do Araripe guardam um rico conteúdo fossilífero de um período importante da história do Planeta Terra, a separação do supercontinente Gondwana. Especialmente a Formação Romualdo, desta bacia, destaca-se por possuir uma rica e diversificada paleobiota, com excelente estado de preservação. E foi em terras piauienses que o primeiro ovo amniótico procedente desse depósito foi coletado, precisamente na cidade de Simões. Abreu et al. (2020) fizeram um estudo completo da descrição e identificação desse espécime, que foi atribuído a um crocodilo. Ainda mais excepcional foi a identificação de estruturas básicas de um embrião no interior desse ovo. Nesse trabalho, apresentamos alguns pontos importantes da pesquisa realizada sobre esse ovo fóssil. Também foram feitas algumas considerações acerca dos aspectos geológicos e paleontológicos da Formação Romualdo, além de uma síntese sobre a importância dos ovos fósseis nas pesquisas paleontológicas e a ocorrência de ovos fossilizados atribuídos a crocodilomorfos no Brasil.

Palavras-chave: Crocodylomorpha. Formação Romualdo. Ovo. Piauí. Simões.

ABSTRACT: The Cretaceous sediments of the Araripe Basin hold a rich fossil content from an important period in the history of Planet Earth, the separation of the supercontinent Gondwana. Especially the Romualdo Formation, in this basin, stands out for having a rich and diversified paleobiota, with an excellent state of preservation. And it was in Piauí that the first amniotic egg from this deposit was collected, precisely in the city of Simões. Abreu et al. (2020) carried out a complete study of the description and identification of this specimen, which was assigned to a crocodile. Even more exceptional was the identification of the basic structures of an embryo within

that egg. In this work, we present some important points of the research carried out on this fossil egg. Some considerations were also made about the geological and paleontological aspects of the Romualdo Formation, as well as a synthesis on the importance of fossil eggs in paleontological research and the occurrence of fossilized eggs attributed to crocodylomorphs in Brazil.

Keywords: Crocodylomorph. Romualdo Formation. Egg. Piauí. Simões.

1 Introdução

A história paleontológica da Bacia do Araripe vem sendo contada desde o século XVIII, o que possibilitou catalogar um grande número de animais e plantas fósseis, permitindo a reconstrução de um período importante da Terra – o Cretáceo Inferior do Gondwana (CARVALHO et al., 2021). A sedimentação desse depósito está diretamente ligada ao processo de ruptura entre os continentes sulamericano e africano, iniciado há 150 milhões de anos, que consequentemente levou à abertura do Oceano Atlântico Sul (ASSINE, 2007; CARVALHO; MELO, 2012; PONTE; PONTE FILHO, 1996; VIANA; LIMA-FILHO; CARVALHO, 1993).

Essa bacia cretácea estende-se pelos estados do Ceará (sul), Pernambuco (noroeste) e Piauí (leste) (Figura 1). Entre as camadas sedimentares que compõem a Bacia do Araripe, a Formação Romualdo destaca-se por ser um dos mais famosos e importantes depósitos paleontológicos brasileiros (KELLNER, 2002). Apesar de possuir uma diversificada paleobiota, especialmente de vertebrados (MAISEY, 1991), até o momento, não havia registros oológicos. Entretanto, em sedimentos aflorantes desse depósito no Município de Simões, no Piauí, foi coletado um ovo fóssil de crocodylomorfo descrito por Abreu et al. (2020). Esse trabalho relata a importância da descoberta do ovo de crocodilo encontrado em concreção do Membro Romualdo da Bacia do Araripe no Município de Simões-PI.

2 Desenvolvimento

2.1 Aspectos geológicos e Paleontológicos da Formação Romualdo

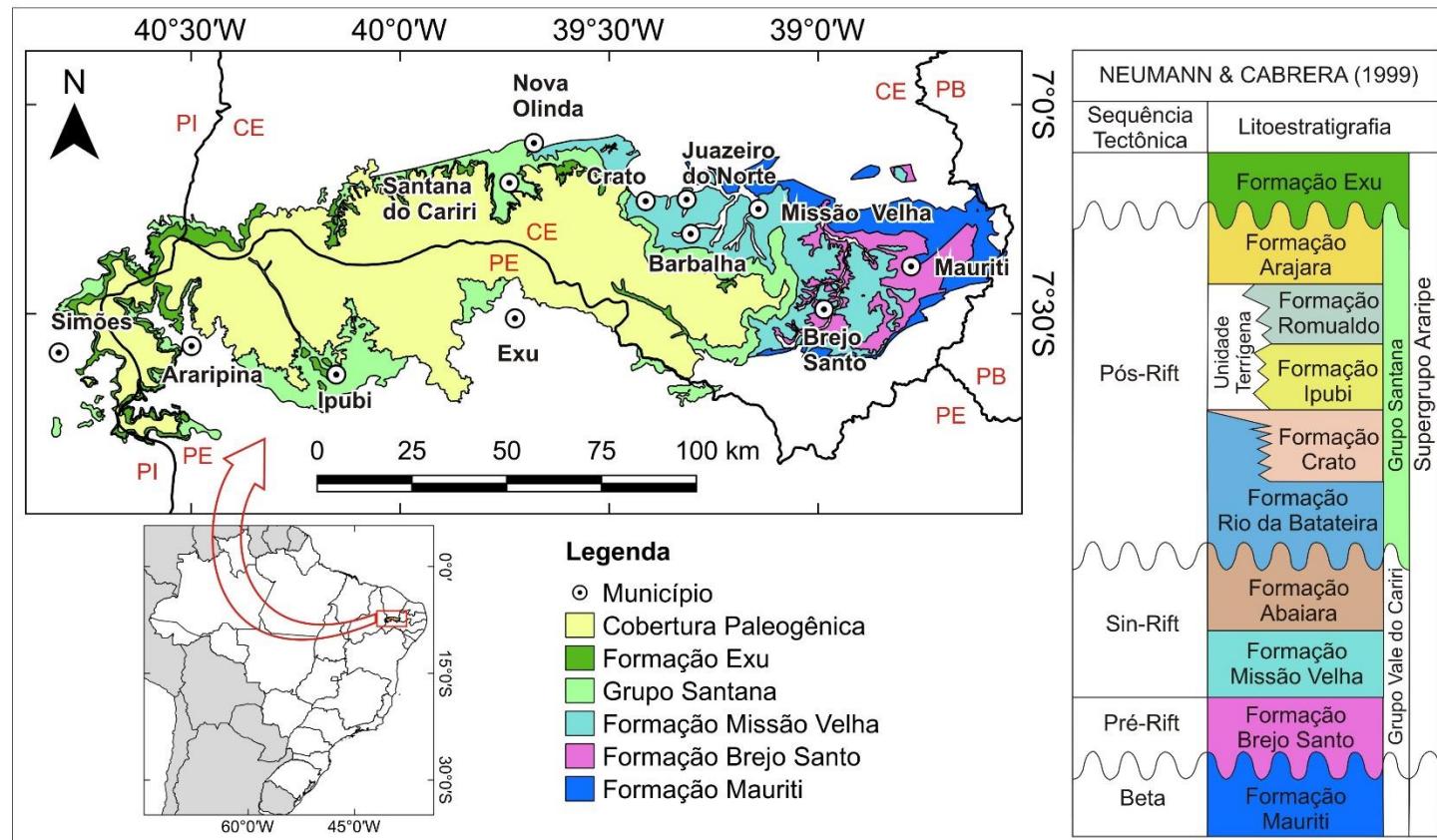
A Formação Romualdo destaca-se na Bacia do Araripe por seu conteúdo fossilífero abundante, diversificado e muito bem preservado (ARAI; CARVALHO; CASSAB, 2004; CARVALHO; SANTOS, 2005; KELLNER, 2002; VIANA; NEUMANN, 2002). Geralmente, os fósseis pertencentes à Formação Romualdo são encontrados no interior de concreções calcárias, e na maioria dos casos, preservados tridimensionalmente sem exibirem sinais de compactação, embora existam exemplares conservados nos folhelhos e margas que

UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

envolvem esses nódulos calcários (KELLNER, 2002). Essas concreções foram formadas por eodiagênese, sendo a maioria com núcleos orgânicos, a partir da variação micro ambiental ao redor de carcaças em decomposição em ambiente litorâneo e com registros de mortandade em massa (MAISEY, 1991; MARTILL, 1988; VIANA; RICHTER, 1999).

Devido à rápida litificação, a decomposição foi interrompida e os espécimes acabaram se fossilizando de maneira excepcional, sem compressão de restos orgânicos e muitas vezes com preservação de tecidos moles no interior das concreções (CARVALHO et al., 2021). Sua associação fossilífera é predominantemente composta de vertebrados, em especial os grupos Osteichthyes e Pterosauria, além de Testudines, Crocodylomorpha e Theropodomorpha, fora os invertebrados, fragmentos de vegetais carbonizados, microfósseis e coprólitos (BEURLEN, 1966; CARVALHO; VIANA, 1993; KELLNER, 1987; KELLNER, 1998; KELLNER, 1999; KELLNER; TOMIDA, 2000; LIMA; SARAIVA; SAYÃO, 2012; MAISEY, 1991; MARTILL, 1993; OLIVEIRA; KELLNER, 2007; OLIVEIRA; ROMANO, 2007; POLCK et al., 2015; SANTOS; VALENÇA, 1968; VIANA; AGOSTINHO, 1995).

Figura 1 – Localização e Geologia da Bacia do Araripe. Limites das bacias com base nos dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (geosgb.cprm.gov.br).



Fonte: Sousa (2018).

2.2 Importância paleontológica dos registros oológicos

O desenvolvimento do ovo amniótico foi fundamental para solucionar o problema da dependência direta da água para a reprodução, e dessa forma, alguns vertebrados puderam conquistar o hábito completamente terrestre (ROMER; PARSONS, 1985; RUSSO, 2016). Na Paleontologia, os vestígios fossilizados dessas estruturas biogênicas são classificados como icnofósseis, por serem originados de uma atividade biológica (MAGALHÃES-RIBEIRO, 2007). A fragilidade desses materiais faz com que os registros fossilíferos sejam raros, ou resumidos a fragmentos de cascas, ou espécimes bastante danificados (CARVALHO, 2007).

Em virtude do potencial informativo dos ovos, cascas, ninhos e restos embrionários fossilizados, algumas questões relativas à reprodução dos amniotas extintos, assim como os aspectos evolutivos, tafonômicos, compostionais, paleoambientais, paleoclimáticos, paleobiológicos e paleogeográficos puderam ser compreendidas (MARSOLA, 2015; MENDES, 1988; MIKHAILOV, 1997; OLIVEIRA, 2008; RUSSO, 2016).

Zhao (1994) utilizou a distribuição paleogeográfica das cascas de ovos fossilizados para correlacionar as bacias cretácicas da China. Já os poros que permitem a troca gasosa entre embrião e o meio externo, fornecem características sobre o clima e o comportamento do animal em relação à nidificação (REIS; FERNANDES; CARVALHO, 2014). A escassez de poros e a presença de finas cascas em ovos fósseis podem ser interpretadas como uma adaptação para ambientes quentes, pois reduz a perda de água durante o desenvolvimento do embrião; enquanto a alta porosidade tem uma clara associação com condições bastante úmidas (MARSOLA et al., 2016; SEYMOUR, 1979).

As estratégias reprodutivas também podem ser inferidas. Oliveira et al. (2011) relacionaram a combinação de uma casca fina em ovos fósseis de crocodilomorfos e a ausência de sinais de degradação extrínseca como um novo mecanismo utilizado por esses répteis durante o processo de incubação. Com base na ocorrência de um grande número de associações de ovos, atribuídos à *Baurusuchus*, em uma área relativamente pequena e em diferentes níveis estratigráficos, Oliveira (2008) sugeriu que esses crocodilomorfos nidificavam em grupo e retornavam ao local periodicamente para a nidificação. Srivastava et al. (2015) e Russo et al. (2017) comentaram a existência de ninhos de crocodilomorfos juntos com ovos de dinossauros, evidenciando uma possível relação entre esses répteis como estratégia reprodutiva dos mesmos.

2.3 Ovos fósseis de Crocodylomorpha no Brasil

A distribuição das ocorrências de ovos fósseis no Brasil não reflete o mesmo padrão que se observa em escala mundial, ou seja, a maioria desses achados não são atribuídos aos dinossauros. Esse fato é reflexo do grande número de fragmentos de cascas e ovos fossilizados de crocodilomorfos reportados nos últimos anos (MAGALHÃES-RIBEIRO, 2007; MARSOLA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2011) (Figura 2).

Arruda, Carvalho e Vasconcellos (2004) mencionam que no período de 1999 a 2004, diversos fósseis de baurusuquídeos foram escavados no distrito de Prudêncio de Moraes, Município de General Salgado, São Paulo, nos sedimentos correspondentes à Formação Adamantina da Bacia Bauru. Associadas a estes restos esqueletais, também foram coletadas cascas de ovos, no entanto, os autores não fazem outras menções sobre esses icnofósseis. Dessa maneira, pode-se dizer que foi no trabalho de Magalhães-Ribeiro, Carvalho e Nava (2006) que os primeiros ovos de crocodilomorfos no Brasil foram descritos. Estes espécimes, dois ovos tentativamente referidos ao táxon *Mariliاسuchus amarali*, foram coletados em um afloramento próximo à cidade de Marília, Estado de São Paulo, litologicamente pertencentes à Formação Araçatuba, Bacia Bauru.

Marinho et al. (2012) comunicaram brevemente a descoberta de um fragmento de ovo parcialmente preservado em associação com dois exemplares de *Campinasuchus dinizi*, provenientes da Formação Adamantina, na localidade Fazenda Três Antas, no Município de Campina Verde, Estado de Minas Gerais. Entretanto, não é adicionada nenhuma observação quanto aos caracteres morfoestruturais do ovo fóssil. Também para essa unidade litoestratigráfica, foi relatado o resgate, na fazenda Inhumas, no limite norte do Município de Campina Verde, de um ovo com sinais de compressão, embora seus fragmentos de casca estivessem unidos. Não há observações adicionais quanto aos caracteres histológicos da casca, mas o material é tentativamente ligado a *Pissarrachampsia sera* (DIAS; RIFF; MAGALHÃES-RIBEIRO, 2013).

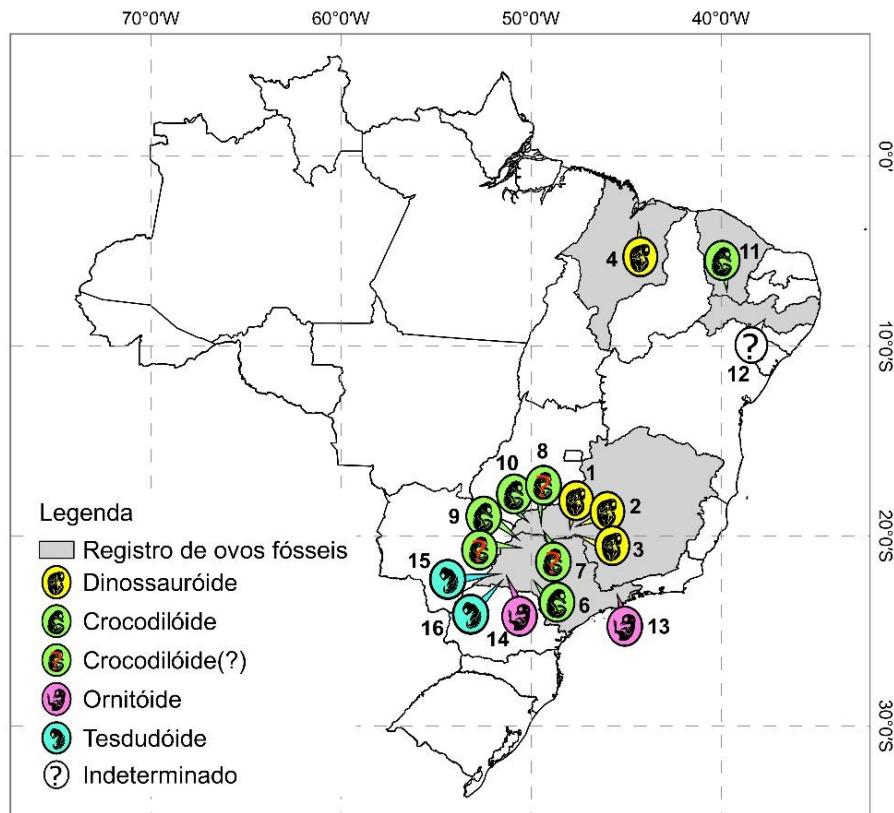
Os estudos mais completos sobre ovos fósseis de crocodilomorfos no Brasil, foram apresentados por Oliveira et al. (2011) e Marsola et al. (2016). No primeiro trabalho, o material foi coletado nas proximidades da cidade de Jales, São Paulo, onde foram recuperados 12 ovos, cuja maioria está mal preservada, e muitos fragmentos de cascas, provenientes da Formação Adamantina (OLIVEIRA, 2008). Oliveira et al. (2011) fizeram um estudo morfoestrutural detalhado desses espécimes, e apesar de não terem sido encontrados remanescentes embrionários, os ovos e as cascas foram descobertos no mesmo nível estratigráfico associados a diversos restos esqueletais e dentários de *Baurusuchus*. No

UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

segundo trabalho, realizado por Marsola et al. (2016) foram analisadas três associações com quatro ovos cada, e uma quarta associação com pelo menos quatro ovos comprimidos, além de três ovos isolados e cascas de ovos. Esse material também procede da Formação Adamantina de um afloramento situado na fazenda Inhaúmas-Arantes, no Triângulo Mineiro, Município de Campina Verde, Minas Gerais. De acordo com os autores, a presença desses icnofósseis juntamente com restos ósseos articulados de *Pissarrachamps* *sera*, permite inferir esse réptil como provável ovipositor.

Ainda para os crocodilomorfos, Magalhães-Ribeiro et al. (2011) descrevem o primeiro ovo associado a esse réptil para o Cretáceo Inferior da América do Sul, descoberto nas camadas da Formação Crato, na Bacia do Araripe, no Município de Nova Olinda, Estado do Ceará. Também para o Nordeste, Silva (2012) e Silva et al. (2012) pontuam a ocorrência de um único fragmento de casca de ovo do Jurássico Superior da Formação Aliança, Bacia de Jatobá. O material, coletado no Município de Ibimirim, em Pernambuco, apresenta significativa precipitação de carbonato de cálcio, e um acentuado desgaste em diferentes partes da lateral do mesmo, impossibilitando uma descrição geral, e consequentemente sua identificação. Embora os autores não façam uma análise macro e microscópica desse espécime, ressaltam que o mesmo foi encontrado juntamente a tubarões hibodontiformes, *Mawsonia*, “Lepidotes”, crocodilomorfos e coprólitos.

Figura 2 – Distribuição das ocorrências de ovos fósseis no Brasil.



Ponto	Tipo Básico	Município	UF	Unidade Litoestratigráfica	Bacia	Idade
1	Dinosauróide	Uberaba	MG	Fm. Marília	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
2	Dinosauróide	Uberaba	MG	Fm. Uberaba	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
3	Dinosauróide	Uberaba	MG	Fm. Marília	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
4	Dinosauróide	Itapecuru-Mirim	MA	Fm. Itapecuru	Bacia do Parnaíba	Cretáceo Inferior
5	Crocodilóide(?)	General Salgado	SP	Fm. Adamantina	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
6	Crocodilóide	Marília	SP	Fm. Araçatuba	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
7	Crocodilóide(?)	Campina Verde	MG	Fm. Adamantina	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
8	Crocodilóide(?)	Campina Verde	MG	Fm. Adamantina	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
9	Crocodilóide	Jales	SP	Fm. Adamantina	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
10	Crocodilóide	Campina Verde	MG	Fm. Adamantina	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
11	Crocodilóide	Nova Olinda	CE	Fm. Crato	Bacia do Araripe	Cretáceo Inferior
12	Indeterminado	Ibirimirim	PE	Fm. Aliança	Bacia de Jatobá	Jurássico Superior
13	Ornitóide	Tremembé	SP	Fm. Tremembé	Bacia de Taubaté	Oligoceno
14	Ornitóide	Álvares Machado	SP	Fm. Vale do Rio do Peixe	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
15	Testudóide	Álvares Machado	SP	Fm. Adamantina	Bacia Bauru	Cretáceo Superior
16	Testudóide	Pirapozinho	SP	Fm. Presidente Prudente	Bacia Bauru	Cretáceo Superior

Fonte:
Sousa
(2018).

2.4 Um ovo de

crocodilomorpha para a Formação Romualdo

Em uma publicação na Revista Brasileira de Paleontologia, Abreu et al. (2020) descreveram e identificaram o primeiro ovo amniótico para os sedimentos da Formação Romualdo. O material estudado corresponde a um único ovo preservado no interior de uma concreção carbonática. De acordo com os autores, o espécime foi coletado em 2015 na localidade conhecida como Sítio Pé da Serra do Félix, no município de Simões, Sudeste do

UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

Piauí, Brasil. Atualmente, esse ovo fóssil encontra-se depositado na coleção paleontológica do Museu Dom José, localizado no município de Sobral, Ceará (Figura 3).

Essa pesquisa consistiu no estudo dos caracteres morfológicos e microestruturais presentes na casca do ovo fóssil. Para isso, três pequenos pedaços da casca do espécime foram retirados e analisados por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) e Microscopia Ótica (OM), para visualização e análise das suas características morfoestruturais. O ovo fóssil também foi submetido à tomografia computadorizada.

Essas análises permitiram observar os aspectos macroscópicos e microscópicos presentes na casca do ovo, além disso, por meio da tomografia os autores puderam caracterizar as estruturas internas presentes no interior do ovo. Com base nos dados gerados, Abreu et al. (2020) atribuíram o ovo ao morfotipo crocodiloide (Figura 4). A pesquisa aponta os diâmetros desse ovo fóssil como sendo o menor entre outros ovos de crocodilomorfos já descritos para o Cretáceo. Além disso, sua casca possui uma espessura considerada grossa, especialmente quando comparada com os ovos fósseis relatados para o Brasil. Para a surpresa dos autores, os cortes tomográficos revelaram estruturas básicas de um embrião dentro do ovo, sugerindo que este é o primeiro ovo fóssil no mundo com vestígios embrionários pertencentes a tal grupo amniota (Figura 5).

Como já mencionado anteriormente, a preservação dessas estruturas não é comum e a qualidade do material geralmente é perdida devido aos processos que sofrem durante a fossilização. E foi justamente isso que ocasionou perda de informações anatômicas mais detalhadas do embrião presente no interior do ovo coletado em Simões. Diante disso, os autores não conseguiram especificar a anatomia tomográfica e correlacioná-la com a anatomia macroscópica das espécies de crocodilomorpha documentadas para a Formação Romualdo - *Araripesuchus gomesii* ou *Itasuchus campani* (MAISEY 1991; RIFF et al. 2012).

No entanto, é ressaltado no trabalho que há registro de fósseis pertencentes a *Araripesuchus gomesii* nos mesmos estratos sedimentares, numa localidade a cerca de 38,5 km de onde o ovo foi encontrado. Apesar de ser sugestivo que esse crocodilo seja o provável ovipositor do ovo fóssil de Simões, os autores falam que tal associação é inconsistente visto a escassez de outras informações.

Figura 3 – Concreção com o ovo fossilizado. MDJ Ic 069a, à esquerda e MDJ Ic-069b, à direita.

Fonte: Abreu et al. (2020)

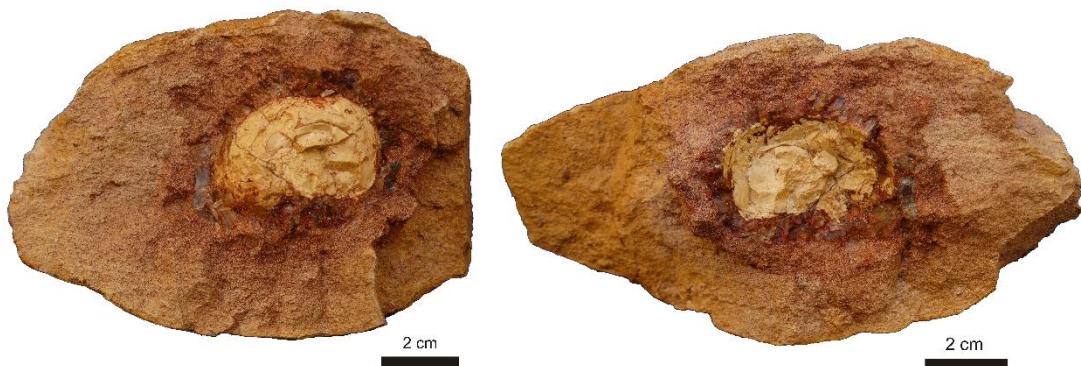
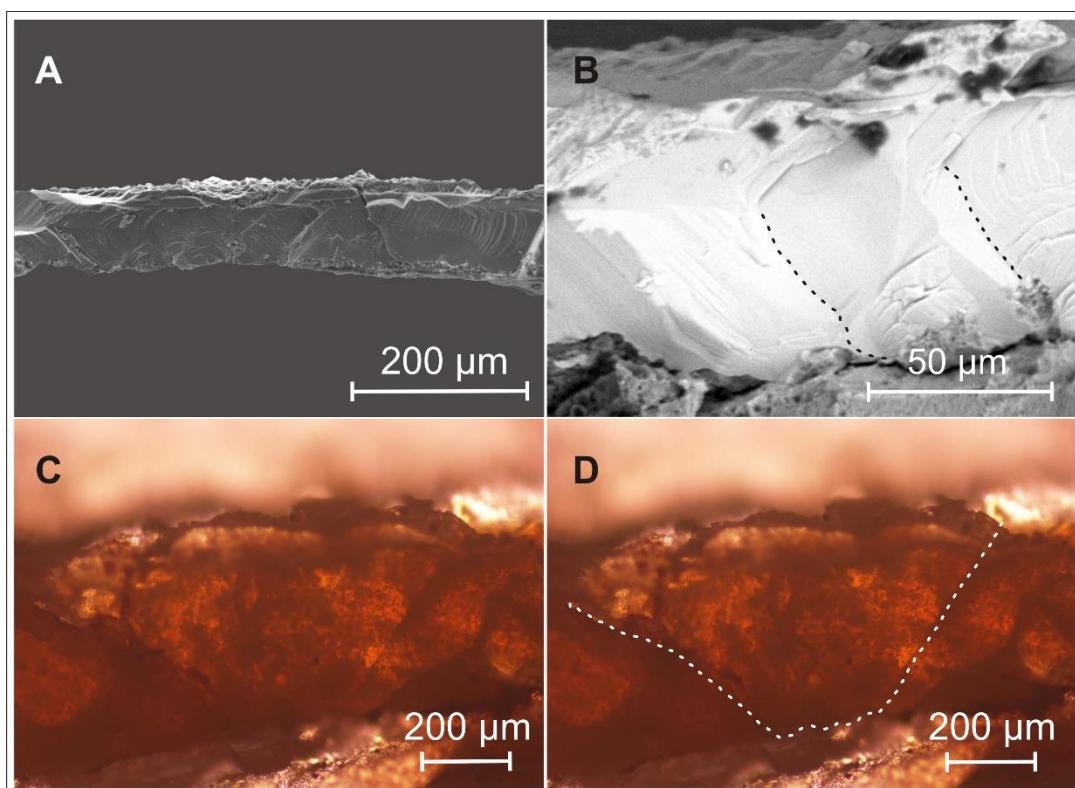


Figura 4 – Corte radial da casca de MDJ Ic 069 vista sob o microscópio eletrônico de varredura. Em B e D há o contorno das unidades básicas da casca típica de ovos de crocodilomorpha.

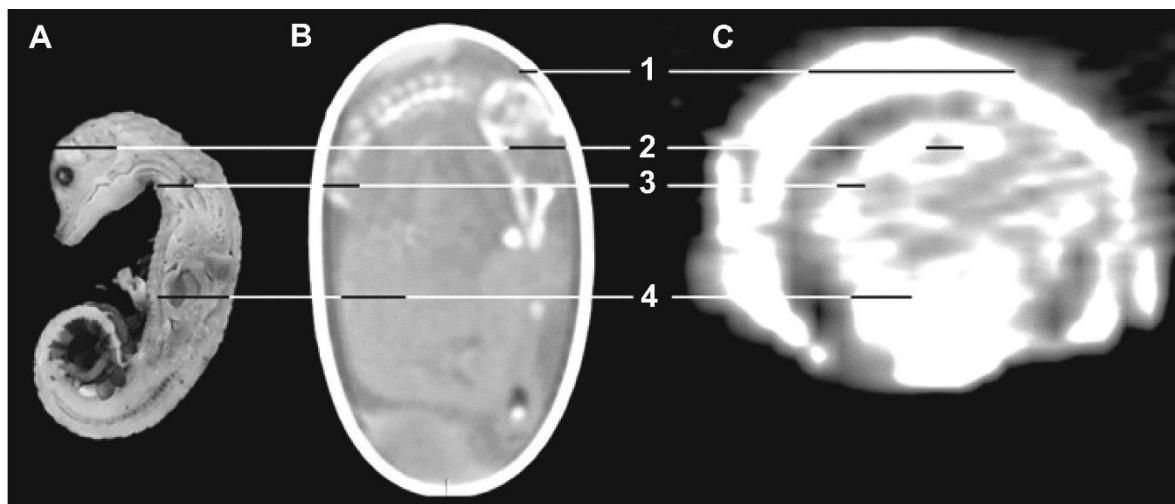


Fonte: Abreu et al. (2020).

Figura 5 – Correlação das principais características anatômica de um embrião de crocodilo existente (*Caiman latirostris*) em corte sagital (A) com sua respectiva imagem tomográfica ainda dentro do ovo (B) e a imagem tomográfica fóssil (MDJ Ic-069) (C). 1 - casca de ovo;

UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

2 - crânio; 3 - coluna vertebral; 4 - região abdominal. Comprimento máximo das imagens: (A) - 7 cm; (B) - 7,50 cm; (C): 3,03 cm. .



Fonte: Abreu et al. (2020).

3 Considerações finais

A Bacia Sedimentar do Araripe é um dos principais depósitos cretácicos do mundo, justamente por abrigar um rico registro paleontológico da transgressão marinha ocorrida durante o Cretáceo Inferior. Soma-se a isso, as condições de preservação encontradas nos fósseis das Formações Crato e Romualdo, que permitiram fossilizar estruturas bem delicadas, como ovos amnióticos. No caso do ovo fóssil coletado nos sedimentos da Formação Romualdo aflorantes no Piauí, torna-se ainda mais expressivo pelo fato de abrigar um embrião em seu interior.

Em terras piauienses pode-se encontrar fósseis que ajudam a espreitar o passado de 115 a 110 milhões de anos atrás da Terra. Diante disso, cabe ressaltar a importância das pesquisas paleontológicas no Piauí com materiais coletados das camadas rochosas da Bacia do Araripe que afloram no referido estado.

Referências bibliográficas

ABREU, D.; VIANA, M. S. S.; OLIVEIRA, P. V.; VIANA, G. F.; BORGES-NOJOSA, D. M. First record of an amniotic egg from the Romualdo Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin, Brazil). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 23, n. 3, p.185-193, 2020.

ARAI, M.; CARVALHO, I. S.; CASSAB, R. C. T. Bacia do Araripe. **PHOENIX**, Sergipe, v. 72, p. 1-6, 2004.

ARRUDA, J. T.; CARVALHO, I. S.; VASCONCELLOS, F. M. Baurussuquídeos da Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 64-74, 2004.

ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.

BEURLEN, K. Novos equinóides no Cretáceo do Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 3, p. 455-464, 1966.

CARVALHO, I. S. Icnofósseis de Vertebrados. In: CARVALHO, I. S.; FERNANDES, A. C. S. (ed.). **Icnologia**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007, p.58-73.

CARVALHO, I. S.; MELO, J. H. G. Bacias interiores do Nordeste. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A (org.). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012, p. 502-512.

CARVALHO, I. D. S.; RAMINELLI, R.; HENRIQUES, M. H. P.; SOARES, R. C.; ANDRADE, J. A. F. G.; FREITAS, F. I. (2021). The Araripe Geopark (NE Brazil): Discovering the Earth's Past as a Driver of Economic and Social Transformation. **Geoheritage**, v. 13, n. 3, p. 1-16, 2021.

CARVALHO, M. S. S.; SANTOS, M. E. C. M. Histórico das Pesquisas Paleontológicas na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 28, n.1, p. 15-34, 2005.

CARVALHO, I. S.; VIANA, M. S. S. Os conchostráceos da Bacia do Araripe. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 65, n.2, p. 181-188, 1993.

DIAS, A.; RIFF, D.; MAGALHÃES-RIBEIRO, C. M. Novos registros de ovo fóssil na Formação Adamantina (Cretáceo Superior, Grupo Bauru) no Município de Campina Verde, Minas Gerais. In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, I SIMPÓSIO DE PALEONTOLOGIA BRASIL-PORTUGAL, 2013, Gramado-RS. **Boletim de resumos** [...] Gramado-RS: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2013. p. 223.

KELLNER, A. W. A. Ocorrência de um novo crocodiliano no Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 3, p. 219-232, 1987.

KELLNER, A. W. A. 1998. Panorama e perspectiva do estudo de répteis fósseis no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.70, n. 3, p. 647- 676, 1998.

KELLNER, A. W. A. Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE – Um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBET-BORN, M. L. C. (ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM/SIGEP, 2002, p. 121-130.

UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

KELLNER, A. W. A.; TOMIDA, Y. Description of a new species of Anhangeridae (Pterodactyloidea) with comments on the pterosaur fauna from the Santana Formation (Aptian-Albian), Northeastern Brazil. **Natural Science Museum Tokyo**, Monographs, Japão, v. 17, p. 01-135, 2000.

LIMA, F. J.; SARAIVA, A. A. F.; SAYÃO, J. M. Revisão da paleoflora das formações Missão Velha, Crato e Romualdo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 22, n. 1, p.99-115, 2012.

MAGALHÃES-RIBEIRO, C. M. Ovos fossilizados de vertebrados. *In: CARVALHO, I. S.; FERNANDES, A. C. S. (ed.). Icnologia*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007, p.74-83.

MAGALHÃES-RIBEIRO, C. M.; CARVALHO, I. S.; FREITAS, I. F.; ANDRADE, J. A. F. G. Um ovo de Crocodiliforme do Cretáceo inferior da Bacia do Araripe. *In: CARVALHO, I. S.; SRIVASTAVA, N. K.; Jr. STROHSCHOEN, O.; LANA, C. C. (ed.). Paleontologia: Cenários de Vida*. Rio de Janeiro: Interciênciia, 2011, v. 4, p. 663- 668.

MAGALHÃES RIBEIRO, C. M.; CARVALHO, I. S.; NAVA, W. R. Ovos de crocodilomorfos da Formação Araçatuba (Bacia Bauru, Cretáceo Superior), Brasil. *In: GALLO, V.; BRITO, M. P.; SILVA, H. M. A.; FIGUEIREDO, F. J. (ed.). Paleontologia de Vertebrados, Grandes Temas e Contribuições Científicas*. Rio de Janeiro: Interciênciia, 2006, p. 285-292.

MAISEY, J. G. **Santana Fossils: An Illustrated Atlas**. Neptune City: Tropical Fish Hobbyist, 1991, 459 p.

MARINHO, T. S.; MARTINELLI, A. G.; RIBEIRO, L. C. B.; NETO, F. M.; FERRAZ, M. L. F.; CARVALHO, I. S.; VASCONCELLOS, F. M.; CAVELLANI, C. L.; TEIXEIRA, V. P. A. Ovo associado à Campinasuchus dinizi (Crocodyliformes, Baurusuchidae), do Cretáceo Superior (Grupo Bauru) de Campina Verde, Minas Gerais, Brasil. *In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTÉBRADOS*, 2012, Recife-PE. **Boletim de Resumos** [...] Recife: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2012. p.135.

MARSOLA, J. C. A. Tafonomia de ovos fósseis: uma visão geral dos efeitos ambientais na fossilização. *In: GHILARDI, R. P. (ed.). Tafonomia como Ferramenta para Interpretações Paleoambientais*. São Paulo: Faculdade de Ciências - Bauru – UNESP, 2015, 79-90.

MARSOLA, J. C. A.; BATEZELLI, A.; MONTEFELTRO, F. C.; GRELLET-TINNER, G.; LANGER, M. C. Palaeoenvironmental characterization of a crocodilian nesting site from the Late Cretaceous of Brazil and the evolution of crocodyliform nesting strategies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 457, p. 221-231, 2016.

MARTILL, D. M. Preservation of fish in the Cretaceous Santana Formation of Brazil. **Paleontology**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 01-180, 1988.

MARTILL, D. M. **Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil**. London: The Paleontological Association, Field Guide to Fossils, 1993. 159 p.

MENDES, J. C. **Paleontologia básica**. São Paulo: T.A. Queiroz, 1988, 348p.

MIKHAILOV, K. E. Fossil and recent eggshells in amniotic vertebrates: fine structure, comparative morphology and classification. **Special Papers in Palaeontology**, v. 56, p. 1-80, 1997.

NEUMANN, V. H.; CABRERA, L. Una nueva propuesta estratigrafica para la tectonosecuencia post-rift de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. *In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 1999, Rio Claro. **Boletim** [...] Rio Claro: UNESP, 1999. p. 279-285.

OLIVEIRA, C. E. M. **Associações de ovos de Crocodilomorfos da Formação Adamantina, Grupo Bauru, Cretáceo Superior, na Região de Jales – SP**. 2008. 98 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2008.

OLIVEIRA, C. E. M.; SANTUCCI, R. M.; ANDRADE, M. B.; FULFARO, V. J.; BASÍLIO, J. A. F.; BENTON, M. J. Crocodylomorph eggs and eggshells from the Adamantina Formation (Bauru Group), Upper Cretaceous of Brazil. **Palaeontology**, Londres, v. 54, p. 309-321, 2011.

OLIVEIRA, G. R. de; KELLNER, A. W. A. A new side-necked turtle (Pleurodira, Pelomedusoides) from the Santana Formation (Early Cretaceous), Araripe Basin, Northeastern Brazil. **Zootaxa**, n. 1425, p. 53-61, 2007.

OLIVEIRA, G. R.; ROMANO, P. S. R. Histórico dos achados de tartarugas fósseis do Brasil. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v.65, n.1, p.113-133, 2007.

POLCK, M. A. R.; CARVALHO, M. S. S.; MIGUEL, R.; GALLO, V. **Guia de identificação de peixes fósseis das formações Crato e Santana da Bacia do Araripe**. Rio de Janeiro: CPRM, 2015, 72 p.

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C. Evolução tectônica e classificação da Bacia do Araripe. *In: 4º SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO*, 1996, Águas de São Pedro-SP. **Boletim** [...] Águas de São Pedro-SP: UNESP, 1996. p.123-133.

REIS, V. G. M.; FERNANDES, A. C. S.; CARVALHO, I. S. Ovos fósseis do Cretáceo do Brasil. *In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 2014, Salvador-BA. **Anais** [...] Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2014, p. 184.

RIFF, D., SOUZA R. G., CIDADE, G. M., MARTINELLI, A. G.; SOUZA-FILHO, J. P. Crocodylomorfos: a maior diversidade de répteis fósseis do Brasil. **TERRÆ**, v. 9, p. 12-40, 2012

ROMER, A. S.; PARSONS, T. S. **Anatomia Comparada dos Vertebrados**. São Paulo: Atheneu Editora, 1985, 559 p.

UM OVO FÓSSIL NO PIAUÍ

RUSSO, J. P. V. M. **Eggs and eggshells of Crocodylomorpha from the Upper Jurassic of Portugal**. 2016. 52 f. Dissertação (Mestre em Paleontologia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2016.

RUSSO, J.; MATEUS, O.; MARZOLA, M.; BALBINO, A. Two new ootaxa from the late Jurassic: The oldest record of crocodylomorph eggs, from the Lourinhã Formation, Portugal. **PLoS One**, v. 12, p. 1-23, 2017.

SANTOS, R. S.; VALENÇA, J. G. A Formação Santana e sua paleoictiofauna. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 3, p. 339-360, 1968.

SEYMOUR, R. S. Dinosaur eggs: gas conductance through the shell, water loss during incubation and clutch size. **Paleobiology**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 1979.

SOUSA, A. D. A. **Primeira ocorrência de ovo amniótico na Formação Romualdo (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, Simões-PI)**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestre em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SRIVASTAVA, R.; PATNAIK, R.; SHUKLA, U. K.; SAHN, A. Crocodilian nest in a Late Cretaceous Sauropod hatchery from the Type Lameta Ghat Locality, Jabalpur, India. **PLoS One**, v. 10, n. 12, p. 1-13, 2015.

SILVA, M. C. **Paleovertebrados da Formação Aliança, Jurássico Superior da Bacia de Jatobá, Nordeste do Brasil**. 2012. 209 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2012.

SILVA, M. C.; MAGALHÃES-RIBEIRO, C. M.; BARRETO, A. M. F.; MARINHO, T. S.; CARVALHO, I. S. Casca de Ovo do Neojurássico Brasileiro: Formação Aliança, Bacia de Jatobá, PE. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 2012, Recife-PE. **Boletim de Resumos** [...] Recife: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2012. p.172.

VIANA, M. S. S.; AGOSTINHO, S. M. Camarões do Membro Romualdo da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe). **Boletim Núcleo Nordeste Sociedade Brasileira Geologia**, v. 14, p. 239-243, 1995.

VIANA, M. S. S.; LIMA-FILHO, M. F.; CARVALHO, I. S. Borborema Megatracksite: uma base para correlação dos “arenitos inferiores” das bacias intracontinentais do Nordeste do Brasil. *In: XV SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 13., 1993, Natal-RN. **Boletim** [...] Natal-RN: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 23-25.

VIANA, M. S. S.; NEUMANN, V. H. L. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE - Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. *In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBET- BORN, M. L. C. (ed.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM/SIGEP, 2002, p. 121-130.

VIANA, M. S. S.; RICHTER, M. Original biomineralization observed in fishes of the Santana Formation (Lower Cretaceous of the Araripe Basin, NE-Brazil). **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 21, p. 91-100, 1999.

ZHAO, Z. Dinosaur eggs in China: On the structure and evolution of eggshells. *In: CARPENTER, K.; HIRSCH, K. E.; HORNER, J. R. (ed.). Dinosaur Eggs and Babies*. New York: Cambridge University Press, 1994, p. 184-203.



GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

Geology of the Guaribas River Basin

José Sidiney Barros¹,

¹Geólogo – Pesquisador em Geociências

Serviço Geológico do Brasil – CPRM/Professor Adjunto Universidade Estadual do Piauí
; sidiney.barros@cprm.gov.br; josesidney@ctu.uespi.br; ORCID: 0000-0002-1816-6813

RESUMO: Situada na mesorregião sudeste piauiense, a bacia do rio Guaribas integra um total de onze bacias hidrográficas piauienses cobrindo terrenos distribuídos por 18 municípios. Sua configuração inclui nove sub-bacias, formadas por cursos d'água menores e intermitentes, dentre os quais destaca-se o riacho Pitombeira, o riacho Canabrava, o riacho Grotão, o riacho São João e o rio Riachão, que desembocam no rio Guaribas que é afluente do rio Itaim, que deságua no rio Canindé, um dos principais formadores do rio Parnaíba, segundo maior rio nordestino, com uma extensão de 1.485 km. Das litologias mapeadas na área da bacia fazem parte rochas do embasamento, representados pelas litologias do Neo e Mesoproterozoico (Suite Intrusiva Itaporanga, com granitos intrusivos grosseiros e veios pegmatíticos) e Complexo Jaguaretama com xistos ricos em micas e granitos migmatizados); Sequência Siluriana (Grupo Serra Grande representado apenas pela Formação Ipu com arenitos e conglomerados); Sequência Mesodevoniiana-Eocarbonífera (representada pelo Grupo Canindé através das formações Itaim, Pimenteira e Cabeças sem litologias das formações Longá e Poti); e Rochas magmáticas, representantes do magmatismo jurocretáceo, com afloramentos da Formação Sardinha na forma de soleira intrudida nos arenitos da Formação Cabeças.

Palavras-chave: Mesoregião. Rio Guaribas. Bacias hidrográficas.

ABSTRACT: Located in the southeastern Piauí mesoregion, the Guaribas river basin integrates a total of eleven Piauí watersheds covering land spread over 18 municipalities. Its configuration includes nine sub-basins, formed by smaller and intermittent water courses, among which the Pitombeira stream, the Canabrava stream, the Grotão stream, the São João stream and the Riachão river, which flow into the Guaribas river stand out which is a tributary of the Itaim River, which flows into the Canindé River, one of the main formators of the Parnaíba River, the second largest river in the Northeast, with an extension of 1,485 km. The lithologies mapped in the basin area comprise basement rocks, represented by the Neo and Mesoproterozoic lithologies (Suite Intrusiva Itaporanga, with coarse intrusive granites and pegmatitic veins and Jaguaretama Complex with schist, rich in micas, and migrated granites); Silurian Sequence (Serra Grande Group represented only by the Ipu Formation with sandstones and conglomerates); Mesodevonian-Eocarboniferous Sequence (represented by the Canindé Group through the Itaim, Pimenteira and Cabeças formations without lithologies from the Longá and Poti formations); and Magmatic rocks, representatives of jurocretaceous magmatism, with outcrops of the Sardinha Formation in the form of a sill intruded in the sandstones of the Cabeças Formation.

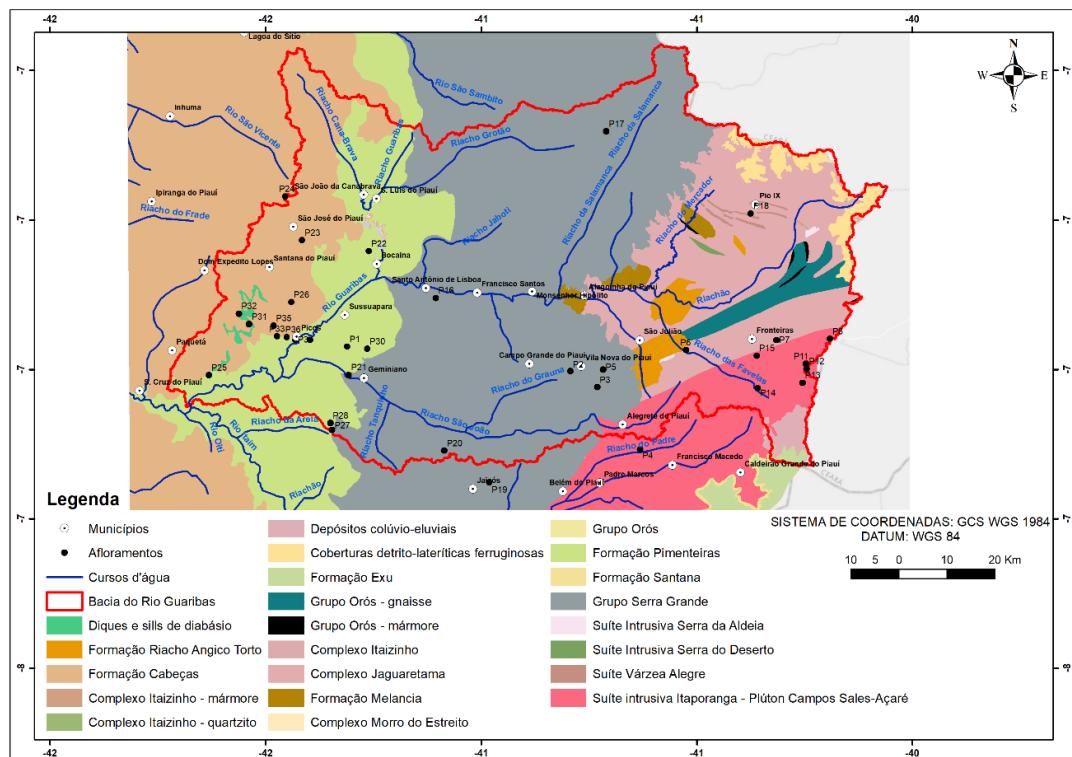
Keywords: Mesoregion. Guariba River. Watersheds.

1 Introdução

A bacia do rio Guaribas foi alvo de prospecção geológica dentro do Projeto Guaribas com caracterização do relevo, geologia e hidrografia para além da sua importância para o desenvolvimento regional (Figura 1). Localizada na mesorregião Sudeste piauiense tem seus limites situados entre os paralelos 6° 30' e 4° 24' de latitude sul e entre os meridianos

40° 18' e 41° 4' de longitude oeste de Greenwich. Picos, o município mais importante da bacia hidrográfica do rio Guaribas é alvo de interesse hidrogeológico desde 1955 com o levantamento deste potencial feito por Kegel. No mesmo ano, Koatz *et al.*, faz um estudo sobre as disponibilidades de água subterrânea em Picos.

Figura 1. Geologia da Bacia do Rio Guaribas e pontos de afloramentos.



Fonte: Mapa Geológico do Piauí (CPRM, 2006), modificado pelo autor.

2 METODOLOGIA

Para a realização do levantamento das sequências litológicas aflorantes na área da bacia do rio Guaribas foram estudados trinta e seis afloramentos selecionados. Os afloramentos selecionados por sua extensão e/ou representatividade, ficaram assim distribuídos:

- doze mostram rochas do embasamento cristalino;
 - do Grupo Serra Grande, sete mostram estratos da Formação Ipu e dois no contato Ipu-Pimenteira do Grupo Canindé;
 - do Grupo Canindé, um corresponde à Formação Itaim no contanto com Formação Pimenteira, cinco à Formação Pimenteira, três no contato Pimenteira-Cabeças, quatro à Formação Cabeças;
 - dois à Formação Sardinha.

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

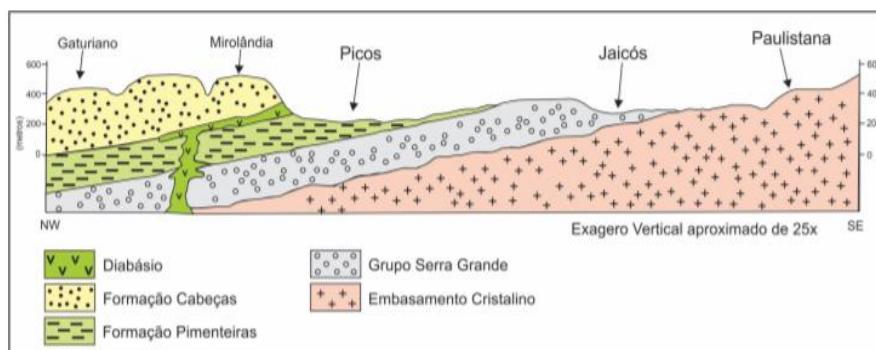
Toda a área da bacia é acessada pela BR-316, BR-407, BR-230, além de sua proximidade com a BR-020 (interligando os estados do Piauí, Maranhão, Bahia, Ceará e Pernambuco), além das rodovias estaduais PI-236, PI-238, PI-375 e PI-379.

3 Bacia Hidrográfica do Rio Guaribas: Caracterização fisiográfica

Para o Projeto RADAM BRASIL (1973), a região tem sua sequencia estratigráfica representada pelas formações Pimenteira e Cabeças (Figura 2). A formação Pimenteira remonta do Devoniano Inferior, com folhelhos de cores variadas, predominando o vermelho e cinza-escuro, micáceos, além de intercalações de arenitos e siltitos, que variam de branco a cinza-claro. A formação Cabeças (do devoniano médio a superior) ocorre com arenitos de cores claras, brancas e cinza-amarelados, chegando a vermelho algumas vezes, com uma estrutura de médio a grosseiro, frequentemente conglomerático, e muito pouco argiloso.

A sequência litológica no Vale do rio Guaribas está composta pelo embasamento cristalino com gnaisses, granitos migmatitos e xistos, predominantemente, ao que se sucede litologias do Grupo Serra Grande com arenitos grosseiros a médios, conglomeráticos e conglomerados. Recobrindo as litologias do Grupo Serra Grande vem a Formação Pimenteira, com litologias alternadas de níveis de folhelhos e siltitos, intercalados com níveis de arenitos de granulação muito fina a siltosa de cores bastantes variadas, com predominância de vermelho e cinza escuro, micáceos com nódulos e leitos de oólitos piritosos e intercalações de arenitos e siltitos, finos comuns na parte superior da formação; Formação Cabeças composta de arenitos médios a grosseiros, às vezes conglomeráticos e micáceos de cores claras, cremes e róseas (PLANAP, 2006). Intrusivas básicas, como os diabásios do Jurássico-Triássico, e sedimentos recentes são encontradas na área.

Figura 2. Corte esquemático das unidades litoestratigráficas da Bacia do Parnaíba.



FONTE: Modificado de CRUZ e FRANÇA (1967).

Fisionomias do bioma Caatinga, em elevado estado de degradação, predominam na região, com alguns encraves de cerrado mais restritos aos platôs dissecados. A diversidade fitoecológica se manifesta através das inúmeras manchas de caatinga, floresta estacional dicídua e extensa área ecotonal onde ocorre encontro dos três Bioma – Cerrado, Caatinga e Floresta. Essas regiões de tensão ecológica ou ecótonos têm funcionado como berçários para o aparecimento de espécies típicas de outras formações que se espalha por todo o território piauiense (MENDES, 2003).

Formas diversificadas do relevo dominam a região, como planaltos e depressões, tendo como substrato os arenitos, folhelhos, siltitos e conglomerados associados, predominantemente às formações, Ipu, Pimenteira e Cabeças (SALES; RAMOS, 2001), como base para formação de solos associados às classes Neossolos litólicos, Latossolo amarelo, solos Aluviais, areias Quartzosas e Argissolos vermelho-amarelos (SALES; RAMOS, 2001). No geral são solos profundos e fortemente drenados, com fertilidade natural, variando de alta à média.

Limitações para o uso desses solos estão mais diretamente relacionadas à textura arenosa, drenagem excessiva, pedregosidade, declividade elevada ou sua exposição em áreas de inundações periódicas. Apesar dessas limitações, na sua grande maioria essas áreas são aproveitadas, respeitando as especificidades próprias de cada solo, em atividades pecuárias, de culturas de subsistência, fruticultura e culturas tradicionais, como milho, feijão, arroz, mandioca e algodão.

Com relação à drenagem da bacia do rio Guaribas há um forte predomínio do padrão de drenagem do tipo paralela, com um canal meandrante na direção norte-sul ao atravessar relevos planos, onde a pequena velocidade de escoamento das águas torna os desvios mais acentuados. Segundo Fonseca (1993), a bacia do Rio Guaribas (seus riachos,

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

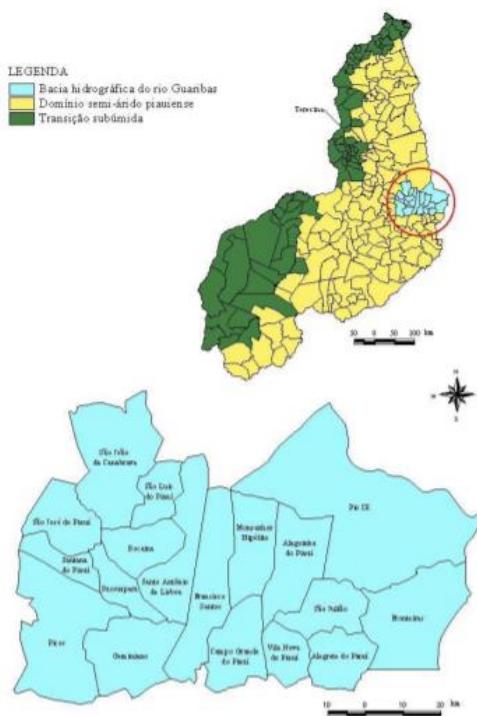
afluentes, lagoas, várzeas e baixões), tem estreita relação como o desenvolvimento da região onde as inundações que ocorriam em seu leito tornavam o mesmo fértil e muito utilizado para plantação de hortaliças. Diante das frequentes cheias com danos materiais a partir de 1960 medidas preventivas foram tomadas e instaladas como a construção de um canal opcional por onde o leito do rio seria desviado da cidade e a construção de uma barragem em Bocaina, que ocasionou a diminuição das atividades agrícolas desenvolvidas nas margens do rio Guaribas.

3.1 Condicionantes naturais, sociais e econômicos.

A partir de 1999 a importância das bacias para a região na qual está situada passa a ter uma maior relevância e consideração, principalmente como fator de desenvolvimento contribuindo para a sua utilização como unidade de planejamento por apresentar uma delimitação precisa, correspondendo a certa uniformidade de fatores morfo-climáticos e sócio-ambientais. A bacia hidrográfica do rio Guaribas é uma das onze bacias hidrográficas piauienses classificadas pela Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Piauí. Completam o quadro hidrológico do Estado as seguintes bacias: Alto Parnaíba, Baixo Parnaíba, Canindé, Gurguéia, Itaueira, Litorâneas, Longá, Médio Parnaíba, Piauí e Poti. Esta bacia tem sua área delimitada entre os paralelos 6°30' e 7°24' de latitude sul e entre os meridianos 40°18' e 41°48' de longitude a oeste Greenwich, com 8.415 km², correspondendo a aproximadamente 3,35% da área total do Estado (Figuras 1 e 3).

Situada na mesorregião sudeste piauiense, a bacia do rio Guaribas integra um total de onze bacias hidrográficas piauienses cobrindo terrenos distribuídos por 18 municípios: Alagoinha do Piauí, Alegrete do Piauí, Bocaina, Campo Grande do Piauí, Francisco Santos, Fronteiras, Geminiano, Monsenhor Hipólito, Picos, Pio IX, Santana do Piauí, Santo Antônio de Lisboa, São João da Canabrava, São José do Piauí, São Julião, São Luís do Piauí, Sussuapara e Vila Nova do Piauí.

Figura 3. Bacia hidrográfica do rio Guaribas e domínio semiárido piauiense. Divisão político-administrativa.



Fonte: SILVA FILHO, 2004.

Sua configuração inclui nove sub-bacias, formadas por cursos d'água menores e intermitentes, dentre os quais destacam-se o riacho Pitombeira, o riacho Canabrava, o riacho Grotão, o riacho São João e o rio Riachão, que desembocam no rio Guaribas que é afluente do rio Itaim, que deságua no rio Canindé, um dos principais formadores do rio Parnaíba, segundo maior rio nordestino, com uma extensão de 1.485 km.

Atualmente o rio Guaribas se mantém perene no trecho entre a barragem de Bocaina e o município de Picos e mais especificamente após receber as águas do rio Riachão. As figuras 4, 5, 6 7 e 8 destacam o curso do rio Guaribas entre São Luís do Piauí e Picos, selecionado aleatoriamente, representativo das suas condições nos períodos de estiagem e chuvoso.

Exceção feita aos diabásios encontrados na área de estudo a produção de água subterrânea está disponível em todas as outras litologias, com maior representatividade àquelas pertencentes ao Grupo Serra Grande aflorantes a este, e que ocorrem confinadas pela Formação Pimenteira. Esta Formação se comporta como um aquitarde e também como armazenadora de água nomeadamente nos arenitos intercalados nos folhelhos e siltitos e com volume e qualidade das águas inferiores às do aquífero Serra Grande (CRUZ e FRANÇA, 1967). A Formação Cabeças é outro importante aquífero com área de recarga localizada na parte oeste da área de trabalho.

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

Figura 4. Leito do rio Guaribas em São Luís do Piauí, a montante da barragem de Bocaina, no período de estiagem.



Foto: DHME/SEAAB.1996.

Figura 5. Rio Guaribas represado no reservatório de Bocaina, no período seco. Vista do sangradouro da barragem.



Foto: Arquivo do autor.

Figura 6. Vista do curso do rio Guaribas a partir da parede do sangradouro da barragem de Bocaina, no período de estiagem.



Foto: Arquivo do autor.

Figura 7. Leito do rio Guaribas, perímetro urbano da cidade de Picos: (a) no período de estiagem; (b) no período chuvoso.



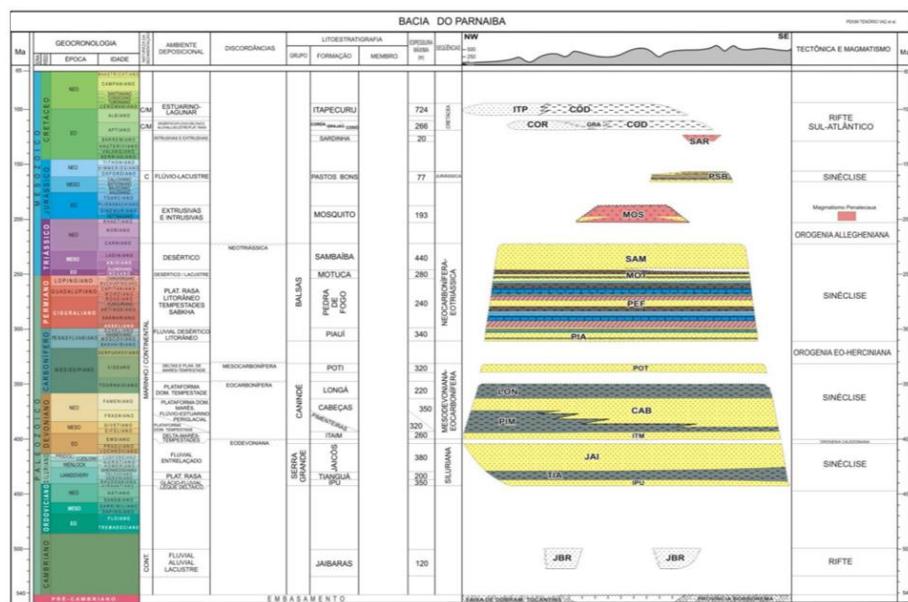
Foto: Autoria desconhecida: (a) ano de 1996; (b) ano de 2004.

3.2 Geologia da Bacia do Rio Guaribas: descrição das litologias aflorantes.

Para descrição e caracterização das litologias aflorantes, correspondentes às formações já referenciadas, os trinta e seis afloramentos serão descritos a seguir segundo as suas respectivas formações geológicas, da Bacia do Parnaíba (Figura 9), nas quais estão inseridos.

Figura 8. Coluna estratigráfica da Bacia do Parnaíba.

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS



Fonte: Vaz *et al.*, 2007.

1. Rochas do embasamento ou representante do cristalino da Bacia do Parnaíba:

Aqui estão inseridas as litologias do Neo e Mesoproterozóico. Foram mapeadas:

- a) **Suíte Intrusiva Itaporanga:** plútuns Sales-Assaré (it19), Simões (it20) e sem denominação (it45): granitos e granodioritos grossos a porfiríticos, associados a dioritos e a fases intermediárias de mistura, com ou sem epidoto magmático, calcialcalinos de alto K.

Em campo os afloramentos classificados como pertencentes à Suite Intrusiva Itaporanga ocorrem como granitos intrusivos grosseiros com porfiríticos em xistos. Presença de veios pegmatíticos ricos em quartzo e feldspato potássico. Os afloramentos P4, P8, P11, P12, P13, P14 e P15 expõem rochas dessa suíte intrusiva, representadas nas fotos seguintes.

- b) **Complexo Jaguaretama:** ortognaisses migmatizados tonalíticos a granodioríticos e graníticos, migmatitos, restos de supracrustais, xistos e quartzitos.

Os afloramentos deste Complexo ocorrem com exposição de rochas bastante tectonizadas com rochas dobradas e falhadas. Nos pontos visitados foram encontrados xistos ricos em micas, granitos migmatizados sob uma cobertura de solo laterítico. Os pontos P6, P7 e P18 expõem rochas deste Complexo, representadas nas figuras seguintes.

2. **Sequência Siluriana.** Esta sequência está representada na Bacia do Parnaíba através de um ciclo transgressivo-regressivo completo, sobrepondo-se a rochas proterozóicas. O Grupo Serra Grande representa esta sequência siluriana através das formações Ipu, Tianguá e Jaicós. A Formação Ipu constitui-se de arenitos com seixos e conglomerados com matriz argilosa, que caracterizam grande variedade de ambientes deposicionais de glacial a fluvial e leques deltaicos (CAPUTO, 1984 in VAZ *et al.*, 2007). As outras Formações não afloram na área da bacia do rio Guaribas. Os afloramentos com litologias pertencentes à Formação Ipu estão representados, no mapa, pelos pontos P3, P5, P16, P17, P19, P20, P21 (aqui em contato com a Formação Pimenteira), P27, P30 (contato Ipu/Pimenteira). Em campo foi possível identificar algumas fácies do Grupo Serra Grande, aqui representado pela Formação Ipu:

Fácies 1: conglomerado maciço, arenoso, localmente caulinizado, suportado por clastos de médio a grosseiros, mal selecionados, com seixos arredondados de quartzo de até 10 cm. Presença de estratificação cruzada acanalada com tendência a granodecrescência ascendente e geometria tabular de 1m a 1,50 m de espessura. Alguns seixos assumem uma forma de subarredondados a subangulares no formato semelhante a um ferro de engomar indicativo de pouco retrabalhamento e pequena distância da área fonte e, para alguns autores, configurando influência flúvio-glacial (Figura 10).

Figura 10. Conglomerado maciço suportado por clastos e areia grossa, com sedimentação cruzada acanalada.

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS



Foto: Arquivo do autor.

Fácies 2: arenito com estratificação cruzada acanalada e planar, granulação grossa com níveis de contato são, no geral, erosivos. Esses arenitos correspondem a pequenos canais gerados por colapsos de bancos de areia como consequência do aumento na energia fluvial com migração de barras de cascalho, segundo Rust & Koster (1984) e Mial (1996), associando os conglomerados grosseiros com estratificação cruzada a canais distributários de alta energia e elevada carga sedimentar; e os arenitos à baías interdistributárias (Figura 11).

Figura 11. Arenito com estratificação cruzada acanalada e pla



Foto: Arquivo do autor.

Fácies 3: Arenito muito fino com silte laminado que ocorre como uma cunha inserida no fácies arenito com estratificação cruzada acanalada. Geralmente são laminas de silte e argila intercaladas cujo contato com o arenito de estratificação planar é sempre feito através de truncamentos de estratificação cruzada (Figura 12).

Figura 12. Arenito muito fino com silte e argila laminados.



Foto: Arquivo do autor.

3. Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera – A esta unidade corresponde o Grupo Canindé composto das formações Itaim, Pimenteira, Cabeças, Longá e Poti. À Formação Itaim associam-se arenitos finos a médios, com intercalações de folhelhos bioturbados depositados em ambientes deltaicos e plataformais. À Formação Pimenteira, folhelhos escuros ricos em matéria orgânica com intercalações de arenitos e siltitos, que representam a transgressão marinha mais importante da bacia (VAZ et al., 2007) constituem as litologias características. Na Formação Cabeças predominam arenitos depositados em ambiente plataforma sob influência de correntes decorrentes de processos de marés. As formações Longá e Poti não ocorrem na área da bacia do rio Guaribas. As formações Itaim e Pimenteira ocorrem, em muitos afloramentos, com possibilidade de visualização das duas fácies areníticas e suas geometrias características. Já na região de Picos, a Formação Pimenteira ocorre em contato com a Formação Cabeças. Ao Grupo Canindé correspondem fácies mapeadas na área da Bacia do Rio Guaribas:

Fácies 1: arenito com estratificação cruzada planar. Arenito arcoseano fino, amarelo-esbranquiçado, com estratificação cruzada planar de baixo ângulo. A Formação Pimenteira ocorre em afloramentos típicos ou em contato através de falhas com a Formação Ipu e em contato erosivo com a formação Itaim (Figuras 13, 14 e 15).

Figura 13. Litologias da Formação Pimenteira.

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS



Fotos: Arquivo do autor.

Figura 14. Litologias das formações Itaim e Pimenteira na zona de contato por superfícies erosivas.



Fotos: Arquivo do autor.

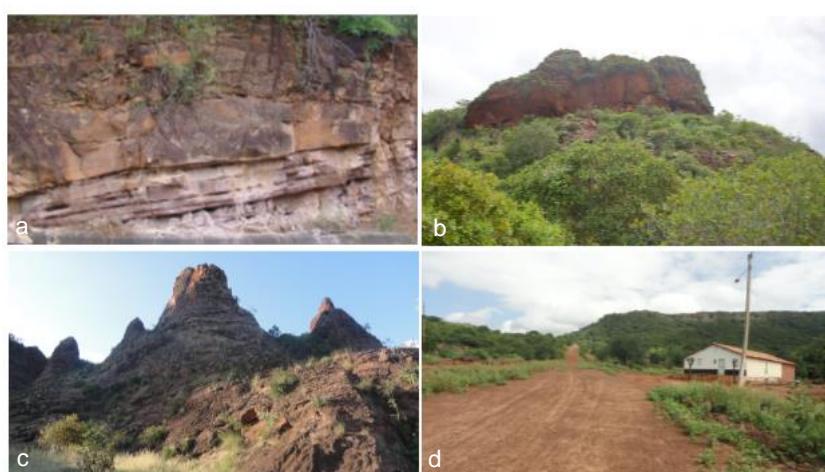
Figura 15. Zona de contato, por falha, entre as formações Ipu e Pimenteira.



Fotos: Arquivo do autor.

Fácies 2: Arenito com estratificação cruzada planar de grande porte; cruzada acanalada; com marcas de onda e de estruturas tipo ripples e hummocky ou dorso de arraia com direções concordantes de paleocorrentes; e arenitos arcoseanos finos; ou no contato com a Formação Pimenteira são as feições típicas da formação Cabeças na área mapeada e exposta em afloramentos bem característicos. Algumas dessas feições estão representadas na figura 16.

Figura 16: Diferentes modos de ocorrências das litologias da Formação Cabeças, no contato com a Formação Pimenteira (a); no seu modo de ocorrência típico e nas formas cársticas (b, c); e num ponto de onde ocorre sobreposta à Formação Pimenteira e sendo intrudida por diabásios da Formação Sardinha (d).



Fotos: Arquivo do autor.

4. **Rochas magmáticas.** Um magmatismo jurocretáceo, de caráter básico a alcalino, relacionado à ruptura do Supercontinente Gondwana, ocorreu por toda a extensão que

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

corresponde hoje ao território do Brasil, com exposição na forma de diques e soleiras na região de Picos (Figura 17). O magmatismo Sardinha faz parte do magmatismo básico que atingiu as bacias intracontinentais (MIZUSAKI & THOMAZ FILHO et al., 2008). Na Bacia do Parnaíba este magmatismo ocorre em duas unidades, Formação Sardinha e Formação Mosquito (VAZ et al., 2007). As idades são diferentes: idade média de 124 milhões de anos (Ma), Eocretáceo, para a Formação Sardinha e de 178 Ma (Eojurássico) para a Formação Mosquito. Outras diferenças entre estas duas Formações relacionam-se à natureza química e isotópica, à forma de ocorrência em superfície (Sardinha em grandes diques e pequenas soleiras; Mosquito em grandes derrames e pequenas soleiras) e à sua localização na bacia (VAZ et al., 2007).

Figura 17. Afloramento da Formação Sardinha na forma de soleira intrudida nos arenitos da Formação Cabeças.



Fotos: Arquivo do autor.

4 Considerações finais

Este trabalho objetivou apresentar uma caracterização dos aspectos geológicos ligados ao relevo e a hidrografia da Bacia Hidrográfica do rio Guaribas, em seu ambiente natural. Localizado numa região de clima semiárido e com uma disponibilidade de água

baixa a ponto de não garantir a perenidade em todo o seu leito chega, no período chuvoso, a transbordar ocasionando inundações nas cidades ribeirinhas, como em Picos.

A geologia da região apresenta litologias inseridas no embasamento cristalino, no Grupo Serra Grande, no Grupo Canindé e na Formação Sardinha.

Referências bibliográficas

CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. 1967. Água subterrânea sob condições artesianas na área de Picos - Piauí. Recife: SUDENE.

CRUZ, W.B e FRANÇA, H.P.M - 1967 - Água subterrânea sob condições artesianas na área de Picos - Piauí. SUDENE. Hidrogeologia 16, 79p. do Iguaçu, Paraná, PR, Brasil, p.4, abril, 2008.

FONSECA, G. G.; NOBREGA, Fábio Coelho. 1993. Variabilidade climática e Planejamento da ação governamental no nordeste semiárido – Avaliação da seca de 1993. Teresina-PI: IICA (Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura).

FRISCHKORN, H. and SANTIAGO, M.M.F. 1992. The Paleoclimate of Northeast of Brazil according to isotope Hydrology. In: Impacts of Climatic Variations and Sustainable Development in Semi-arid Regions (ICID), Fortaleza, 18 p.

GEYH, M. A.; STUTE, M.; FRISCHKORN, H. e SANTIAGO, M.M.F. 1991. Contribuição para a história climática do Nordeste do Brasil. In: Base para o futuro: 20 anos de Cooperação Científica e Tecnologia Ed. KFA, Jülich, Alemanha, p. 159 - 162., Hidrocarbonetos". **4º simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados**, Fortaleza.

KEGEL, W. 1955. Águas Subterrâneas no Piauí. DNPM, Rio de Janeiro. Boletim 156, 60p.

KOATZ, R.; FERREIRA, A. S.; TENÓRIO, J. A. 1965. Reconhecimento das disponibilidades de água subterrânea em Picos - Pi. DNOCS. Boletim 11, 23p.

LIMA, I. M. M. F.; ABREU, I. G.; LIMA, M. G. 2000. Semi-árido piauiense: delimitação e regionalização. **Carta CEPRO**, Teresina, PI: Halley, v. 18, n. 1, p. 162-183, jan./jun.

MENDES, M. R. A. 2003. **Florística e fitossociologia de um fragmento de caatinga arbórea, São José do Piauí, Piauí**. 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MIALL, A. D. 1996. The geology of fluvial deposits. New York, Springer, 582 p.

MIZUSAKI, A. M. P, THOMAZ FILHO, A., ROISENBERG, A. 2010. "Rochas Ígneos-Básicas das Bacias Sedimentares Brasileiras Como Potenciais Reservatórios de PIAUÍ. Disponível em <http://www.picos.pi.gov.br/secretaria.asp>. Acesso em 20 de out.

GEOLOGIA DA BACIA DO RIO GUARIBAS

PLANAP. 2006. Plano de ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba. PLANAP: síntese executiva: Território Vale do Guaribas/ CODEVASF. V.6. Brasília-DF: TODA Desenhos e Artes Ltda.

RUST, B. R. & KOSTER, E. H. 1984. Coarse aluvial deposits. In: R. G. Walker. Facies models. Toronto. The Canadian society of Petroleum Geologist; 53-59.

SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. 2001. Análise da capacidade de uso da terra, com base na declividade e nas características dos solos, nas áreas sob influência do reservatório de Bocaina-PI. **Carta CEPRO**, Teresina, PI: Halley, v. 20, n. 2, p. 47-58, maio/ago.

SANTIAGO, M. F.; RÄDE, H; TORQUATO, J.R. E GARRETT, L. 1981. Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos - Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica. In: Estudos Hidrológicos do Nordeste. BNB. Série monografia, 3: 73-100.

SILVA FILHO, J. S. da. 2004. Indicadores de desenvolvimento sustentável nos municípios da bacia hidrográfica do rio Guaribas – PIAUÍ. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFPI).

SILVA, C.M.V.; SANTIAGO, M.F.; H. FRISCHORN e MENDES FILHO, J. 1996. Distinção entre águas dos aluviões e águas profundas nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte – Ce. Anais do IX Congr. Bras. Ág. Subt. 75-77.

THOMAZ FILHO, A. T., NIZUZAKI, A. M. P., MILANI, E. J., CESERO, P. D. 2008. Rifting and magmatism associated with the South America and Africa break up. Brazilian Journal of Geology. 30 (1), 017-019.

VAZ, P. T., Rezende, N. G. A. M., Wanderley Filho, J. R., Travassos, W. A. S. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 253-263.

Agradecimentos: Meus agradecimentos ao Serviço Geológico do Brasil-SGB-CPRM e Universidade Estadual do Piauí, duas entidades de ensino e pesquisa que me possibilitaram as condições de estudo e atividades de campo no levantamento e coleta de dados para embasar esta pesquisa. Agradecimentos ao técnico em geoprocessamento Igor de Castro Sousa pela colaboração na elaboração dos mapas.



ENTREVISTA COM IRACILDE MARIA DE MOURA FÉ LIMA



A entrevistada, Iracilde Maria de Moura Fé Lima, é graduada em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, é mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Doutora em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Membro perpétuo da Academia de Ciências do Piauí, ela coordena projetos de pesquisa e de extensão em análise ambiental e em educação.

1) ÉRICO: A geografia tem um caráter multilateral por servir como instrumento de estudos à muitos objetos que estão contidos na categoria espaço. Como podemos compreender o desenvolvimento desta ciência geográfica e como ela se coloca hoje no contexto das demais ciências?

IRACILDE – Desde a antiguidade já se esboçava o conhecimento geográfico, a partir da discussão filosófica dos gregos e relatos dos viajantes, contribuindo, assim, para ampliar o conhecimento dos lugares, principalmente por meio da matemática, da física e da astronomia, possibilitando a definição das coordenadas geográficas como instrumentos cartográficos, dentre outros aspectos de grande apoio às navegações. Mas foi na idade moderna, com o surgimento do capitalismo, que a Geografia se constituiu Ciência, em meio a embates das *escolas* alemã e francesa, a partir dos estudos do meio e da paisagem. Alexander Von Humboldt e Karl Ritter tiveram destaque na sistematização do conhecimento geográfico pela adoção da razão para explicar o espaço e suas características físicas e humanas, rompendo com os pensamentos até então marcados pela presença de mitos, crenças e superstições. Assim, a Geografia se consolidou como ciência no século XIX, isto é, com o seu próprio objeto de estudo e o seu método científico bem definido. No entanto, mesmo integrando em seus estudos elementos naturais e humanos, ocorria uma distinção entre os autores citados, pois Humboldt era naturista e estudava Geologia e Botânica, trabalhando com viagens e observações pela América, África, Ásia e Europa, enquanto Ritter tinha base nos estudos de Filosofia e História, priorizando a descrição das várias organizações espaciais dos homens nos diferentes lugares¹. Outros momentos de mudança no desenvolvimento teórico-metodológico desta ciência encontram-se até meados do século XX quando a Geografia passou a ser estudada na perspectiva de correntes Teórico-Quantitativa, do Comportamento e da Percepção, Ecológica e Crítica, tendo se desenvolvido na segunda metade do século XX a perspectiva da análise integrada homem *versus* natureza, atualmente envolvendo grande complexidade em decorrência do desenvolvimento do meio-técnico-científico-informacional, com destaque para as linguagens ligadas às geotecnologias aliadas da Cartografia. Assim, pode-se dizer que o seu desenvolvimento passou por reflexões distintas acerca dos objetos e métodos do fazer geográfico, mas permanecendo uma ciência de síntese, que busca o entendimento das relações entre o homem e a natureza (MENDONÇA, 2008)² as quais se refletem na organização do espaço geográfico e suas representações sociais, em escalas do local ao global. E, neste contexto, as análises/discussões sobre os temas/questões que envolvem/vivenciam a sociedade atual tem aproximado a Geografia de outras ciências, como Geologia, Meteorologia, Biologia, História, Sociologia, Economia, assim como da Arte, Agronomia, Arqueologia e Arquitetura, dentre outras, cujos objetos de estudos se encontram na interface do entendimento do *espaço geográfico*.

2) ÉRICO: Como você analisa o ensino de geografia nas escolas de ensino básico na atualidade? Existe uma diferença de natureza entre a geografia ensinada na Escola e a ensinada na Universidade?

IRACILDE – Em razão de sua origem, a Geografia se manteve em um longo período histórico associada à descrição dos aspectos físicos/peculiaridades dos lugares, o que levou o ensino desta ciência durante muito tempo a ter um caráter de *memorização* de lugares e de *fenômenos*. Sem uma crítica a esta forma de expressão, o ensino de Geografia nas

escolas de ensino básico passou a ter este caráter, fato que vem se modificando pela evolução da ciência como um todo, e da Geografia em particular. Desta forma, deslocando-se do espaço físico também para uma outra dimensão de interpretação - o espaço social - a Geografia adotou novas interpretações como as relacionadas ao meio ambiente, aos problemas urbanos e rurais, ao crescimento das desigualdades econômicas e sociais, incorporando em suas discussões novos saberes e novas tecnologias. Assim, conforme a reflexão de Monteiro (2003)³, “quando se passa a novos momentos da vida a gente muda, tem-se que mudar, porque o mundo muda”. E é por isto que sempre vai haver uma nova Geografia, moderna, científica, porque o mundo muda. Sendo que a Geografia ainda permanece com seu vínculo na Filosofia (de onde foram saindo as diferentes ciências), e se destaca como um veículo de educação. Isto porque os lugares e os *fenômenos/acidentes geográficos* têm que ser conhecidos, compreendidos... é necessário que se saiba localizar no espaço as *coisas* e a nós mesmos... saber a função das montanhas, dos rios, das cidades... refletir sobre o conceito de lugar... Com relação à diferença da natureza entre a Geografia ensinada na Escola e a ensinada na Universidade, pode-se dizer que, sendo a Universidade fonte por excelência de discussões teóricas, resultantes de demandas da sociedade, é de lá que emanam as transformações científicas. Tais necessidades reverberam na atividade docente nos níveis de ensino fundamental e médio, naturalmente adaptadas às suas faixas etárias. Deste modo há, atualmente, não somente em todo o mundo, mas também no Piauí, um esforço para a produção do conhecimento geográfico que contemple a compreensão do espaço contemporâneo em suas diversas dimensões. Como exemplo da nossa realidade mais próxima, destacamos a contribuição dos cursos de pós-graduação ofertados por Universidades na maioria dos Estados brasileiros, onde os professores de Geografia têm se qualificado, renovando seus conhecimentos teóricos e metodológicos. Lembramos que a UFPI oferece os cursos em nível de Graduação e de Mestrado em Geografia (e se prepara para pleitear junto ao MEC a implantação do curso de Doutorado em Geografia). Além destes, encontram-se os cursos de Mestrado e Doutorado em Educação, em Políticas Públicas e em Desenvolvimento e Meio Ambiente (este ofertado pelo TROPEN-MDMA/UFPI), dentre outros, cuja interface com a Geografia oportuniza a docentes e estudantes de Geografia aprofundarem seus conhecimentos e suas pesquisas, contribuindo com discussões e produção de trabalhos relevantes para o conhecimento e reflexões sobre a realidade do espaço geográfico, especialmente do Estado do Piauí. E, assim, disponibilizam para professores, pesquisadores e técnicos, bem como para a sociedade em geral, subsídios para ampliar o conhecimento sobre o Piauí.

3) ÉRICO: Como a senhora vê a evolução dos estudos geográficos piauienses? Recordo que estudei Geografia Física do Piauí, na da década de 1980, no livro do prof. João Gabriel Baptista. Têm sido produzidos novos estudos nesta área?

IRACILDE – Conforme comentado antes, a Geografia tem se transformado ao longo dos anos e, consequentemente, o ensino desta ciência também tem se modificado. Nesse contexto, destaca-se a relevante contribuição ao conhecimento do espaço piauiense deixada pelo o prof. João Gabriel Baptista (engenheiro civil de formação e geógrafo por vocação), pois foi pioneiro na organização de livros de Geografia do Piauí. Seguiu-se a publicação de outros livros especificamente voltados para o ensino a partir da década de 1990, quando as professoras Iracilde e Irlane voltaram da UFRJ (primeiras geógrafas do Piauí a cursar o Mestrado em Geografia), e passaram a desenvolver um projeto de produção de livros didáticos sobre o Piauí e sobre Teresina, em parceria com outras professoras de Geografia

e de História da UFPI (Universidade Federal do Piauí). O primeiro desta série foi o livro *Piauí: tempo e espaço*, de minha autoria juntamente com as professoras Maria Cecília Silva de Almeida Nunes e Emília Maria Ribeiro Gonçalves Rebêlo, que foi publicado em primeira edição pela Editora do Brasil S.A (em 1995), e em segunda edição foi publicado em 1998, pela Editora FTD, sendo amplamente adotado pelas escolas piauienses, inclusive foi premiado pelo PNLD/Nordeste/MEC⁴. Destaque-se que este livro marcou uma geração de estudantes, pois ainda hoje alunos que cursam a universidade nos relatam que estudaram sobre o Piauí com este livro (e que alguns de seus professores o adotavam como referência inclusive para estudar inclusive outras disciplinas, tendo em vista a incipiente produção de material educativo sobre o Piauí), dele guardando boas recordações e até conservando-o com carinho entre seus livros atuais. Pois bem, os últimos livros publicados como parte deste projeto (encerrado em 2016), juntamente com Iracilde Maria de Moura Fé, participaram as professoras Irlane Gonçalves de Abreu (Geografia) e Celis Portella Nunes (História), dentre eles *Teresina: tempo e espaço*⁵ e *Geografia do Piauí*⁶. Atualmente, além de iniciativas individuais de publicação de livros didáticos/paradidáticos por parte de professores de Geografia da UFPI e de outras instituições, sobre o Piauí e Teresina, outro projeto de professores da UFPI propondo a produção de uma série de livros paradidáticos sobre Teresina encontra-se em desenvolvimento, sob a coordenação geral da Profa. Dra. em Geografia Mugiany Oliveira Brito Portela e apoio dos Grupos de Pesquisa vinculados ao CNPq (GAAE-Geomorfologia, Análise Ambiental e Educação e GERUR-Grupo de Estudos Regionais e Urbanos), desta vez voltados principalmente para professores do ensino fundamental e médio buscando dar apoio ao conhecimento geográfico e suas discussões/reflexões em sala-de-aula, como também para pessoas que se interessem em conhecer um pouco mais sobre esta cidade e/ou que trabalham/pesquisam sobre Teresina. Como resultado desta proposta já se encontra publicado o primeiro livro intitulado *O ensino de Geografia e a cidade de Teresina*⁷ e em fase de organização dois outros livros⁸, com publicação prevista para o segundo semestre de 2022, contando com a parceria de outros professores da UFPI, UFMG, UFRJ, URCA, UESPI, IFPI, SEMAR e UEMASUL, cujos temas são 1) *Aspectos socioespaciais da cidade de Teresina* e 2) *Ensino da cidade de Teresina: meio ambiente e paisagens*.

4) ÉRICO: O Piauí é um estado que tem uma rica geodiversidade e biodiversidade, de norte a sul, respectivamente desde o Delta do Parnaíba e o Parque Nacional de Sete Cidades até o Cânions do Viana e o PN das Nascentes. A Geografia pode contribuir para a preservação deste rico patrimônio geológico e geomorfológico e para a melhoria da qualidade de vida das comunidades onde estes sítios estão inseridos?

IRACILDE – A Geografia tem contribuído de forma mais efetiva nas últimas décadas para ampliar o conhecimento desta rica biodiversidade e geodiversidade que ocorre por todo o espaço piauiense, seja através da produção acadêmica (livros, artigos, dissertações e teses) de docentes e discentes do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPG GEO-UFPI), seja de professores-pesquisadores da UESPI e do IFPI, seja do CPRM⁹, seja de outras instituições. Estes estudos de professores-pesquisadores em Geografia, individualmente e em parceria com geólogos e biólogos (além daqueles produzidos por geólogos, biólogos, agrônomos e engenheiros florestais, etc), têm sido publicados em livros e periódicos especializados, como também apresentado/discutido esse conhecimento em congressos e outros eventos, em níveis internacional, nacional, regional e local. Como referência geral pode-se citar o artigo publicado na Carta CEPRO no qual são identificadas 86 publicações no período de 2010 a 2018 sobre a geoconservação no Estado do Piauí¹⁰, com o objetivo

de identificar e caracterizar a geodiversidade, principalmente nas macrorregiões piauienses Meio-Norte, Litoral e Semiárido. Sobre o conhecimento da biodiversidade animal e vegetal no espaço piauiense, no artigo dos biólogos Francisco Soares Santos-Filho e Suzianne Raquel Valadares Sales Sousa: *[In]ci(pi)ênciia: panorama geral dos estudos sobre biodiversidade no Piauí*¹¹, foi identificada a publicação de 31 artigos abordando a flora e 35 estudos da fauna, incluindo registros de espécies, no período de 2003 a 2013. Os dados consideraram a biodiversidade dos ecossistemas tomando como referencial a classificação científica utilizada no planejamento de ações governamentais: cerrado, caatinga, mata de babaçuais, litoral, ecótonos setentrionais e ecótonos meridionais. Especificamente sobre os estudos das Unidades de Conservação, com destaque para o Parque Nacional de Sete Cidades (que se apresenta com maior número de trabalhos publicados), mesmo aqueles realizados por pesquisadores de outras áreas do conhecimento e que não destacam seu caráter geográfico, nesses estudos a interface com a Geografia se faz presente, necessariamente, nas análises espaciais e seus respectivos mapeamentos. A Geografia se utiliza, ainda, de aulas práticas de campo, de atividades de extensão e de práticas de Educação Ambiental (apesar das dificuldades encontradas por muitos professores em suas escolas e, muitas vezes, consistirem em iniciativas pessoais ou corresponderem apenas a atividades pontuais como aquelas comemorativas ao dia da água, do meio ambiente, etc), como ferramentas complementares à discussão geográfica e à busca em contribuir para a conscientização da sociedade sobre a necessidade e importância do uso responsável dos recursos naturais e da sua conservação. Pode-se considerar, então, que este número de publicações recentes demonstra um crescente interesse no estudo/conhecimento sobre a geodiversidade e a biodiversidade do Piauí, embora se saiba que essas análises e discussões, via de regra, permanecem nos meios acadêmicos e técnicos e não chegam (ou chegam muito lentamente) ao conhecimento da maioria da população do Piauí. Mesmo assim, os estudos citados nesses artigos se constituem subsídios a um possível caminho na elaboração de propostas de conservação da geodiversidade e da biodiversidade piauiense, com possibilidade de apoiar o desenvolvimento de planos/práticas geoconservacionistas, conforme as especificidades, potencialidades e limitações de cada espaço a ser objeto de investigação. Torna-se relevante, assim, seja via escola, seja nos meios técnicos, em projetos de extensão junto a comunidades, e, ainda nos meios de comunicação escrita e falada (hoje a maioria da população acessa as redes sociais), a existência deste conhecimento produzido sobre as riquezas naturais e culturais do Piauí. Esta forma de fazer chegar à maioria da população esse conhecimento e discussões, certamente contribuiria para despertar não somente nos cidadãos, mas também nas instituições a vontade de intervir na realidade, com planejamento e ações, fazendo acontecer o processo de gestão ambiental voltada para o desenvolvimento sustentável em níveis regional e local.

5) ÉRICO: Como se deu a sua escolha pela Geografia e, em especial, pela Geografia física?

IRACILDE – Fiz o curso de graduação em Geografia na Universidade Federal do Ceará. No primeiro ano, ainda cursando as disciplinas básicas, não tinha certeza de ter feito a escolha certa. No entanto, ao cursar as demais disciplinas, principalmente aquelas consideradas como pertencentes ao temário da Geografia Física, as que mais gostava de estudar, não tive mais dúvidas, passei a me sentir realizada neste curso, pois os temas discutidos e as metodologias adotadas iam me fazendo descobrir uma Geografia mais atraente da que eu conheci no ensino básico. As aulas práticas, especialmente as práticas

de campo, que eram mais frequentes nas disciplinas Geologia e Geomorfologia, certamente influenciaram minha decisão de optar por aprofundar meus estudos na área da Geografia Física, seguindo por esta linha no Mestrado na UFRJ, orientada pelo Prof. Jorge Xavier da Silva (*in memoriam*) e o Doutorado na UFMG orientada pela Profa. Dra. Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin. Mas, recuando na minha história, hoje considero que talvez eu tenha escolhido o curso de Geografia intuitivamente, pois, lembro-me, me encantava observar os prédios históricos, as praças, os riachos e as *grotas* que eles formavam ao *percorrer* àquela época ruas ainda sem pavimentação... sabia os nomes de cor de todas as ruas da área central da cidade e por elas passeava de bicicleta nos finais de semana. Ruas tranquilas da Teresina do final da década de 1950... Mas sempre voltava à Igreja de São Benedito (construída sobre um platô) para admirar o seu entorno do alto de suas escadarias e me sentir *no meio* da cidade: entre a Zona Norte e a Zona Sul - zonas estas que têm como limites entre si as avenidas que se iniciam nessa Igreja e seguem nas direções Leste e Oeste, rumo aos rios Poti e Parnaíba. Assim, espaço, orientação, urbanização, relevo, rios... são conceitos geográficos sobre realidades que depois passei a percebê-los também sob outras perspectivas...

6) ÉRICO: A temática dos rios piauienses está presente em muitos dos seus trabalhos: Parnaíba, Poti, Portinho, Guaribas, Mulato e muitos outros. Qual a análise da situação ambiental dos rios de nosso estado?

IRACILDE – A geomorfologia e a hidrografia correspondem aos principais temas que me dedico mais a estudar. Considero muito importante estudar a hidrografia, partindo do pressuposto de que o conhecimento da ocorrência e distribuição da água, assim como sua conservação, são indispensáveis para todas as sociedades, não somente porque é vital para a existência e manutenção dos ecossistemas terrestres, mas também porque, além de compor mais de 50% do corpo humano, se constitui um importante suporte à sustentabilidade socioeconômica e, assim, a um dos fatores limitantes para o desenvolvimento sustentável das sociedades, como destacam Salati e Lemos (1999)¹². Outro aspecto importante a se considerar constitui o fato de que o atual período da história humana tem se caracterizado por escassez, desperdício e redução da qualidade das águas doces em grande parte das bacias hidrográficas do mundo, principalmente em decorrência de seus usos múltiplos de forma inadequada (TUNDISI, 2003)¹³. Assim, torna-se de fundamental importância estudar/conhecer os rios piauienses, tanto em função destes aspectos socioambientais citados, como pelo seu papel historicamente desempenhado para o Piauí, pois a principal rede de drenagem, formada pelo rio Parnaíba e seus grandes afluentes, seguida da rede formada pelos relativamente pequenos rios litorâneos, corresponderam a um agente decisivo no povoamento do Piauí, iniciado no período da colonização do Brasil, quando seus vales serviram de rotas de idas e vindas das caravanas de viajantes. Estes se deslocavam entre as Províncias da Bahia, Pernambuco, Ceará e Maranhão, enquanto outros grupos iam se fixando em núcleos populacionais no espaço que mais tarde, no século XVIII, passaria a constituir o território piauiense (CHAVES, 2013; COSTA, 2015)¹⁴. Tem destaque nesses espaços a beleza de suas paisagens naturais e culturais, que apresentam ricas geodiversidade e biodiversidade, desde o litoral (ao norte), ao sul e a leste do Estado (como já citado), contornados pelos grandes planaltos, onde se encontram também ricos patrimônios arqueológico e paleontológico. Com relação à situação ambiental da maioria dos rios piauienses, uma preocupação fundamental a ser

encarada diz respeito à conservação e preservação dos solos e das águas, buscando prevenir impactos socioambientais decorrentes principalmente do uso das terras de forma inadequada, da poluição, erosão e assoreamentos desses mananciais (LIMA, 2017)¹⁵. Tendo em vista que esses processos ocorrem de forma inter-relacionada, seus desdobramentos atingem toda a área da bacia hidrográfica, inclusive o litoral, onde os sedimentos transportados principalmente pelos processos fluviais vão gerar ilhas, planícies fluviomarinhas, dunas e restingas, em trabalho conjunto com o mar. Desta forma, em função das diferenças significativas de disponibilidade de águas superficiais que ocorrem nas seções fluviais do alto, médio e baixo cursos do rio Parnaíba, principalmente, como decorrência de suas sub-bacias se localizarem em diferentes estruturas geológicas e condições de transição climática, os seus grandes afluentes como o Piranji, Longá, Poti, Canindé, Itaueira, Gurguéia e Uruçuí Preto e aqueles conjuntos de pequenas bacias classificadas como bacias difusas de pequenos afluentes do Parnaíba (assim como o conjunto de bacias dos pequenos rios litorâneos) apresentam condições ambientais diferenciadas que, de forma bem geral, são identificadas no quadro a seguir, o que facilita se fazer uma rápida comparação entre essas bacias.

Características das grandes Sub-bacias do rio Parnaíba no espaço piauiense

Sub-bacia	Área aprox. (Km ²) ¹	Extensão aprox. do rio principal (km ²)	Vazão média do trimestre mais seco (m ³ /s)	Vazão média do trimestre mais chuvoso (m ³ /s)	Regime do rio principal	Local das nascentes principais e altitudes aproximadas ²
Piranji	1.300	130	-	-	Temporário	Planalto da Ibiapaba - CE, a 720 m
Longá	22.900	320	15,34	432,00	Temporário	Lagoa do Mato, em Alto Longá, a 100 m
Poti³	55.300	550	5,60	346,00	Temporário	Serra Joanhina -CE, a 600 m
Canindé	80.800	340	2,80	88,00	Temporário	Serra da Tora / Dois Irmãos, a 500 m
Itaueira	8.900	330	0,95	9,00	Temporário	Chapada de Guaribas, a 650 m
Gurguéia	52.000	740	7,0	63,00	Perene	Em brejos, entre as Serras Alagoinha e Santa Marta, a 500m
Uruçuí Preto	16.000	300	23,3	43,00	Perene	Em brejos, entre as Serras Guaribas e Patos, a 500m
Bacias Difusas	22.970	-	-	-	-	-
Total	249.570	-	-	-	-	-

Fonte dos dados: Lima (2017). Obs.1) Áreas calculadas por meio digital, com base no mapa de Bacias Hidrográficas do Piauí (SEMAR, 2003), tendo em vista as discrepâncias dos valores das diversas fontes. Obs.2) Fontes: Carta do DSG (1973); Baptista (1974); Rivas (1996); observação em trabalhos de campo pela autora, na maioria das nascentes. Obs.3) A Bacia do rio Poti tem área total estimada em 55.000 Km², tendo no Piauí cerca de 36.000 Km². Seu rio principal apresenta extensão de 350 Km no Piauí, 180 Km no estado do Ceará e 20 Km na área de litorâneo (BAPTISTA, 1974).

Conforme os dados constantes no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR, 2010), são encontradas indicações de que, anualmente, pelo leito do rio Parnaíba são drenados cerca de 20 bilhões de metros cúbicos de água, com uma vazão média da ordem de 6.000 m³/s. Para as vazões mínimas encontram-se valores em torno de 280 m³/s no seu baixo curso (próximo a bifurcação do canal principal do Parnaíba em 5 canais que contornam cerca de 70 ilhas e formando sua foz do tipo delta), no período setembro/novembro, quando os seus afluentes perenes normalmente baixam os níveis de suas águas e os afluentes temporários se encontram em parte ou totalmente secos. Com relação aos problemas hidroambientais que vêm ocorrendo nas últimas décadas no espaço piauiense, podem ser destacados alguns exemplos considerados significativos, tendo por

base os conhecimentos bibliográficos que adquiri e também ao longo de pesquisas que desenvolvi/participei envolvendo trabalhos de campo. Vamos, então, falar aqui um pouco a respeito desses rios e suas bacias, de forma bem sintética. Sobre o vale do rio Gurguéia (destacado em vários trabalhos pelo seu volume de água, potencial pesqueiro e qualidade dos solos), pode-se dizer que nas últimas décadas vem sendo reduzida a sua capacidade produtiva e queda do volume de água do seu leito, em consequência principalmente das interferências antrópicas na sua grande bacia mantenedora: os cerrados piauienses. E assim, seu leito vem sendo submetido nos últimos anos sério problema de assoreamento, com risco de se tornar um rio temporário. No alto curso, o rio Paraí (seu afluente da margem direita que percorre uma área de clima semiárido) tem seu leito menor descaracterizado com o rio serpenteando no seu vale, pelo efeito da acumulação de sedimentos em grande extensão de seu curso, acumulação essa intensificada pela contenção de suas águas com sacos de areia, há pelo menos um século. O objetivo dessa prática consiste em buscar a manutenção da umidade em maior faixa do vale, para usos da agricultura e pecuária, conforme relataram proprietários de terras da região (entrevistados em 2002 e em 2010). As consequências deste uso se refletem na redução do escoamento superficial e também na mudança do nível de base da maior lagoa piauiense que é alimentada pelo rio Paraí: a Lagoa de Parnaguá. Estas condições de uso associadas à redução dos índices pluviométricos representaram fatores determinantes para que a lagoa secasse totalmente em 2015. Também merece preocupação a questão dos poços perfurados ao longo do vale no médio curso do rio Gurguéia, em sua grande maioria construídos sem planejamento quanto ao seu uso e destinação e que, ao invés de contribuir para a manutenção do regime do rio e das atividades locais, tem se caracterizado como desperdício da água nessa bacia. Sobre os rios Piauí e Canindé, que têm suas bacias no clima semiárido piauiense, observou-se que vêm sofrendo várias interferências danosas, como o barramento de seus leitos para a formação de lagos artificiais com delgadas lâminas de água sobre as planícies e terraços antes utilizados para agricultura familiar, praticamente sem nova destinação socioeconômica (conforme reclamam os moradores dessas áreas), e o estabelecimento de novos níveis de base locais e o estabelecimento da erosão regressiva. Outro fator negativo é a supressão de vegetação ciliar, que vem contribuindo para a degradação de suas margens, além do mau uso do solo por falta de práticas conservacionistas adequadas. Também o regime de chuvas do clima semiárido, por ser altamente concentrado (irregular no tempo e no espaço), favorece ainda mais a intensificação dos processos erosivos e de assoreamento dos seus leitos. O rio Poti, que tem o médio e o baixo cursos no estado do Piauí, vem experimentando vários problemas de uso das terras e das suas águas, como as demais bacias hidrográficas piauienses. Têm destaque, no entanto, os problemas relacionados à falta de saneamento, notadamente na área do seu baixo curso, onde se localiza a capital do estado, Teresina. Além da redução da qualidade das águas, nesta área os problemas de inundações são agravados principalmente pelo grande aporte de sedimentos provocado principalmente pela urbanização desordenada e pela construção de galerias pluviofluviais inadequadas (LIMA, 2016)¹⁶. No rio Longá, além dos impactos socioambientais provocados pelas inundações em várias cidades localizadas nas suas margens, também se encontram várias barragens construídas ao longo do seu curso e de seus afluentes, sem planejamento de utilização efetiva de suas águas tendo, assim, pouco contribuído para a solução dos problemas hidroambientais na sua bacia. Pode-se destacar que na desembocadura deste no rio Parnaíba, próximo à cidade de Buriti dos Lopes, foi construída uma barragem de terra (que durou cerca de 3 décadas) para permitir a passagem de pessoas e veículos de uma margem à outra do rio. Como consequência, além do represamento de suas águas, no período chuvoso era carreado para o leito do rio Parnaíba uma grande quantidade de aterro desse barramento, ampliando assim, anualmente, o aporte de sedimentos para as ilhas

fluviais, pois nesse trecho a competência de transporte do rio é apenas de material em suspensão e em solução. Felizmente, há cerca de cinco anos esse barramento foi retirado, restaurando aos poucos, nesse trecho, a dinâmica natural desses dois grandes rios. Já na bacia do rio Piranji, considera-se que o maior impacto socioambiental foi o ocorrido em 2009 e que dele vários outros ainda perduram, principalmente de natureza socioeconômica, com o rompimento de uma grande barragem construída no leito do rio principal, no município de Cocal, provocando sérios danos econômicos e a perdas de muitas vidas humanas. Esta tragédia foi resultante de ações antrópicas, ou seja, da não conclusão da obra de engenharia, conforme as entrevistas de técnicos à imprensa local. Já o rio Parnaíba, como eixo receptor desses grandes rios piauienses, a exceção dos rios litorâneos, recebe em consequência, além dos sedimentos, toda a carga de efluentes das cidades, uma vez que a drenagem urbana da área de sua bacia é para ele canalizada, tanto pelas cidades ribeirinhas como através dos seus afluentes, porque é muito baixo ou inexistente o percentual da implantação de esgotos sanitários na maioria das cidades piauienses. No alto curso do rio Parnaíba foi edificada na década de 1970 a barragem de Boa Esperança com a finalidade de gerar energia elétrica, que depois foi incorporada ao sistema nacional CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco). Esta construção proporcionou impacto socioeconômico positivo ao Piauí, porém trouxe, paralelamente, uma série de problemas como: a inundação do seu leito em extensa área a montante, onde se formou o lago, modificando assim o nível de base local, o que faz mudar o sistema de erosão, além da alteração do processo reprodutivo dos peixes. Com relação ao clima, ao longo dos últimos anos o regime pluviométrico vem se alterando de forma significativa (INMET, 2016)¹⁷, tendo graves consequências para todo o sistema hidrológico e socioeconômico, ora com anos de precipitações bem acima da média provocando inundações, ora muito abaixo da média anual, reduzindo as vazões dos rios e lagoas locais, principalmente na regiões semiárida e litoral do Piauí. Na faixa litorânea, os reflexos desse fenômeno se tornaram evidentes nas últimas décadas, provocando maior rapidez no avanço das dunas para o interior do continente, sobre os rios litorâneos, no período seco do ano, que, associado à práticas de uso da terra e da água, como o represamento das águas em propriedades particulares e construções de rodovias em vários pontos cortando os vales e até os leitos fluviais, estão contribuindo para alterar a vazão fluvial e os processos erosivos, se refletindo na redução drástica do espelho d'água dessas lagoas. Estas trazem consequências diretas nas atividades turísticas e pesqueiras nos trechos do médio e baixo rio Portinho, citando-se como exemplo a lagoa formada por este rio que secou completamente em 2015¹⁸ (fato ocorrido também na grande lagoa de Parnaguá, no sul do Piauí). E, finalmente, considerando o relato da ANA (2007)¹⁹ ao destacar que a escassez de água decorrente de fatores naturais tem sido historicamente apontada como um dos principais motivos para o baixo índice de desenvolvimento econômico e social da região Nordeste, mesmo tendo, no caso do espaço piauiense, aquíferos regionais que apresentam grande potencial hídrico. Assim, caso essa água seja explotada de maneira sustentada, estes aquíferos poderiam representar um grande diferencial, contribuindo para a promoção do desenvolvimento econômico e social do Estado do Piauí. Pode-se dizer, então, que as dificuldades encontradas pela sociedade, em relação ao acesso e uso da água no Piauí (mesmo sendo este um recurso natural abundante em relação a sua disponibilidade em outros estados), certamente decorrem, principalmente, da falta de políticas públicas voltadas para a gestão da água, ou seja, de um sistema de planejamento e gerenciamento eficiente dos recursos hídricos.

7) ÉRICO: Recentemente, houve uma linda homenagem a você por parte de colegas, professores e estudantes, com a edição do Livro-homenagem "Iracilde e os Estudos

Geográficos: 50 anos de história". Você se considera realizada profissionalmente? mudaria alguma coisa de sua carreira, se tivesse oportunidade?

IRACILDE – Sim, esta homenagem foi uma bela surpresa que meus ex-alunos, orientandos, colegas e amigos me proporcionaram. Fiquei muito emocionada e feliz pela forma carinhosa com que me acolheram, demonstrada neste gesto: a produção de um livro, destacando aspectos importantes da minha trajetória profissional, ao longo destes 50 anos de formada em Geografia²⁰. Agradeço a Deus, a meu esposo e meus filhos pelo apoio que sempre me deram ao longo desta trajetória, nos momentos de dificuldades e de acertos, assim como aos meus queridos amigos, colegas e alunos. Esta homenagem significa muito mais do que eu poderia imaginar receber como reconhecimento ao meu trabalho, por isto é muito gratificante constatar que pude contribuir para a formação intelectual de tantas pessoas... de outras tantas que se tornaram amigas (no Piauí e em outros Estados), e que até hoje tenho oportunidade de discutir/partilhar conteúdos, metodologias, enfim o saber geográfico, sobretudo porque concordo com a mensagem da frase (que até pode parecer ser apenas um jargão, mas para mim não é!): "professores se sentem mais realizados ao final de seu ofício ao perceber que muitos, ou mesmo alguns de seus ex-alunos têm excelente desempenho profissional, e até superam o conhecimento do seu mestre". E esta é uma realidade que tenho constatado, pois vários ex-alunos estão demonstrando excelente desempenho profissional, o que me enche de orgulho por ter participado de seu processo de formação acadêmica. Sim, me sinto realizada tendo me dedicado à pesquisa e à educação, por meio da Geografia. E mudaria, sim, alguma coisa na minha carreira profissional, caso ainda tivesse oportunidade, no sentido de continuar crescendo intelectualmente e poder continuar contribuindo, de alguma forma, para o desenvolvimento do Piauí, especialmente.

¹Uma discussão sistematizada sobre a história da evolução do pensamento geográfico encontra-se em: GAMA, Claudeam Martins; MELO, Josandra Araújo Barreto; MORAIS, Nathália Rocha. Evolução da ciência geográfica e tratamento à questão ambiental. In: *Revista Caminhos de Geografia*. Instituto de Geografia UFU-Programa de Pós-Graduação em Geografia Uberlândia, MG, v. 16, n. 55 Set/2015 p.152-163. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/27875>.

²MENDONÇA, Francisco. *Geografia e meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2008.

³Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, piauiense, formado em Geografia pela extinta Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil (1950), fez estágio na França e trabalhou no IBGE. Foi docente das Faculdades Catarinense de Filosofia (atual UFSC) e de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro (atual Unesp), e do Instituto de Ciências da Universidade de Brasília. Já aposentado contribuiu para os Programas de pós-graduação em Geografia da UFSC e da UFMG. Professor Emérito da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP (2003). Doutor Honoris Causa da UFRJ (2000) e da UFPI (2007). É membro titular da Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Entrevista ao Boletim Campineiro de Geografia, v.3, n.2, 2013. Disponível em: <http://agbcampinas.com.br/bcg/index.php/boletim-campineiro/article/view/132>.

⁴Premiação do livro didático *Piauí: tempo e espaço*, Ed. FTD. Manual do Plano Nacional de Livros Didáticos- PNLD-Nordeste/MEC, Brasília (DF): MEC, 1998, p.421.

⁵LIMA, Iracilde M. Moura Fé; ABREU, Irlane Gonçalves; NUNES, Maria Cecília de Almeida. *Teresina: tempo e espaço*. Teresina: Alínea Publicações Editora, 2006.

⁶LIMA, Iracilde M. Moura Fé; ABREU, Irlane Gonçalves. *Geografia do Piauí*. João Pessoa: Ed. Grafset, 1^a. ed. 2011; e 2^a. ed. 2016.

⁷PORTELA, Mugiany Oliveira Brito; VIANA, Bartira Araújo da Silva; LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé (Organizadoras). *O ensino de Geografia e a cidade de Teresina*. Goiânia: C&A Alfa Comunicação, 2020, 208p. Disponível em: <https://editoraalfa.com.br/pages/o-ensino-de-geografia-e-a-cidade-de-teresina>.

⁸O livro sobre *Aspectos socioespaciais da cidade de Teresina* é coordenado pelos professores Bartira Araújo da Silva Viana, Mugiany Oliveira Brito Portela e Roberto Célio Valadão (UFMG) e o *Ensino da cidade de Teresina: meio ambiente e paisagens* é coordenado pelos professores Iracilde Maria de Moura Fé Lima, Mugiany Oliveira Brito Portela e Antônio José Teixeira Guerra (UFRJ).

⁹Dentre os vários trabalhos publicados, destaca-se o *Mapa Geodiversidade do Estado do Piauí*, do CPRM, que traz também um quadro com informações sobre a “influência das unidades geológico-ambientais e formas de relevo nas adequabilidades/potencialidades e limitações frente ao uso e ocupação (obras de engenharia, agricultura, recursos hídricos, fontes poluidoras) e nos potenciais mineral e turístico”. Disponível em:

<https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/mapa-de-geodiversidade-do-estado-do-piaui.pdf>. O artigo *Panorama dos estudos sobre geoconservação no Estado do Piauí, no período de 2010 a 2018*, identificou 86 publicações sobre geoconservação, sendo 3 teses de doutorado e duas dissertações de mestrado, 3 trabalhos de conclusão de curso, 6 capítulos de livros, 18 artigos em periódicos e 60 em anais de eventos e 4 trabalhos técnicos. In: CARTA CEPRO. Teresina, v.30, n.1, p.59-80, jan./jun. 2018.

Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201905/CEPRO27_0e4f985610.pdf.

¹⁰BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho; LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé; MOURA, Liege de Souza; SILVA, Brenda Rafaële Viana. *Panorama dos estudos sobre Geoconservação no Estado do Piauí, no período de 2010 a 2018*. In: Carta CEPRO, v. 30, p. 59-80, 2018. Disponível em:

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:jpiyJIfR4kJ:www.cepro.pi.gov.br/download/201905/CEPRO27_0e4f985610.pdf+&cd=5&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br

¹¹Sobre a biodiversidade do Piauí, o artigo *[In]ci(pi)ênciia: panorama geral dos estudos sobre biodiversidade no Piauí, no período 2003 a 2013*, encontra-se publicado na Revista Equador (UFPI), v.7, n.2, p.17-41, 2018.

Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/6437/4900>.

¹²SALATI, Eneas; LEMOS, Haroldo Matos. *Água e o desenvolvimento sustentável*. In: REBOUÇAS, Aldo Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia. *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo. São Paulo: Escrituras, p.39-64,1999.

¹³TUNDISI, José Galizia. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Paulo: RIMA, 2009.

¹⁴CHAVES, Joaquim Raimundo Ferreira. *Obra completa*. Teresina: Fundação Monsenhor Chaves, 2013. / COSTA, Francisco A. Pereira. *Cronologia histórica do estado do Piauí*. v.1, 3a. ed. Teresina: Academia Piauiense de Letras, 2015.

¹⁵LIMA, Iracilde M. Moura Fé. *Hidrografia do Estado do Piauí, disponibilidades e usos da água*. In: AQUINO, C. M. S. A.; SANTOS, F. A. Recursos Hídricos do Estado do Piauí: fundamentos de gestão e estudos de casos em bacias hidrográficas do centro-norte piauiense. Cap.3. Teresina:

EDUFPI, p.43-68, 2017, Disponível em: https://iracildefelima.webnode.com/_files/200000130-6d7826e7ca/Cap.%203_livro%20Hidrografia%20do%20Piau%C3%AD.pdf.

¹⁶LIMA, Iracilde M. Moura Fé. *Elementos Naturais da Paisagem do Piauí*. In: ARAUJO, J. L.L. Atlas Escolar do Piauí. 2^a. Ed. João Pessoa: Grafset, 2016, p.39-84.

¹⁷INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Dados climáticos*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal>. Acesso em: 15 jan.2017.

¹⁸MESQUITA, Tarcys Klébio da Silva; LIMA, Iracilde Maria de Moura Fé; SANTOS-FILHO, FranciscoSoares. Where is the Lake that Was Here? A Case Study on the Portinho Lake in Piauí, Brazil. In: *Revista Brasileira de Geografia Física*. V.11, n° 1 346-356, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327922118_Cade_a_lagoa_que_estava_aqui_Estudo_de_caso_da_Lagoa_do_Portinho_litoral_do_Piaui_Brasil_Where_is_the_Lake_that_Was_Here_A_Case_Study_on_the_Portinho_Lake_in_Piaui_Brazil.

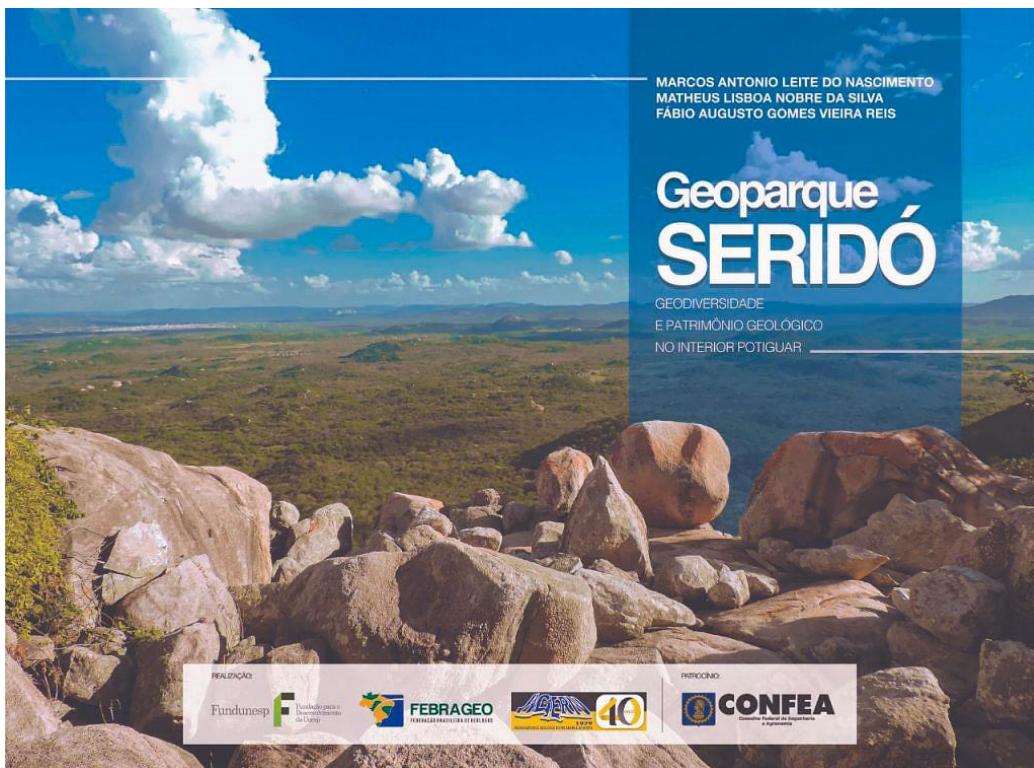
¹⁹ANA -Agência Nacional das Águas. *GEO Brasil - Recursos Hídricos*. Brasília: ANA/PNUMA, 2007.

²⁰Para os que desejarem conhecer este livro-homenagem deixo aqui o link de acesso: https://drive.google.com/file/d/1vd5sJQ5gupfj2dpJwmoEEjMa2M_lWqyl/view.



Resenha

Livro Geoparque Seridó : geodiversidade e patrimônio geológico no interior potiguar de autoria de Marcos Antonio Leite do Nascimento, Matheus Lisboa Nobre da Silva e Fábio Augusto Gomes Vieira. Lançado em 2020.



Geoparques são territórios bem definidos geograficamente, que possuem um patrimônio geológico notável, a nível internacional, onde as comunidades estão inseridas num processo de desenvolvimento sustentável, sendo um dos focos principais de ação a proteção da natureza, com especial destaque à sua geodiversidade.

A partir de 2015, a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) implementou o Programa Internacional de Geociências e Geoparques (*International Geoscience and Geoparks Programme, IGGP*) que atribui o título de Geoparques Mundiais da UNESCO (*UNESCO Global Geoparks, UGG*) a territórios no Mundo, referendando de forma concreta as ações que já vinham sendo trabalhadas desde 2004, com a criação da Rede de Geoparques Mundiais (*Global Geoparks Network, GGN*).

No Brasil, até o momento, apenas o Geopark Araripe, no Cariri cearense, faz parte do programa. Contudo, propostas estão sendo implementadas e caminham para o estabelecimento de novos geoparques, como o Geoparque Seridó, que vem se tornando uma realidade no interior do Rio Grande do Norte, mostrando-se presente no cotidiano das comunidades que habitam esta importante, diversa e bela região do sertão potiguar. O seridoense é um povo acolhedor, com uma gastronomia típica e que se identifica com as paisagens que o cerca.

O sonho de um geoparque no Seridó começou no início da década de 2010, no âmbito do Programa de Geoparques da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), quando Marcos Nascimento (UFRN) e Rogério Ferreira (CPRM) apresentaram diagnóstico de campo com uma proposta inicial para a delimitação de um geoparque na área.

Com o passar do tempo, novos inventários foram realizados, novas pesquisas desenvolvidas e, principalmente, aconteceu a identificação da comunidade local com a ideia, que foi abraçada por artesãos, guias/condutores de turismo, agricultores, professores, jornalistas, empresários, gestores e população em geral. Ao perguntar aos seridoenses sobre o Geoparque Seridó muitos hoje já reconhecem a temática e apoiam a iniciativa.

Inúmeros processos naturais, ao longo dos últimos 2 bilhões de anos, especialmente nos últimos 640 milhões de anos, foram responsáveis por modelar as paisagens da região, marcada por serras, picos e depressões, além das exposições rochosas de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

A mineração é uma atividade econômica importante, sendo que seu auge foi atingido na segunda metade do século XX, por meio da exploração da scheelita (tungstato de cálcio, CaWO₄), principalmente pela Mina Brejuí, a maior deste minério na América do Sul.

Na região também existem importantes registros de povos antigos, que deixaram sua presença marcada nas rochas do Seridó por meio de pinturas e gravuras, evidenciando que a relação dos povos locais com a natureza remonta a milhares de anos passados.

A biodiversidade do território possui também grande destaque, sobretudo por compor um bioma exclusivamente brasileiro – a caatinga. Portanto, há uma flora e uma fauna endêmica identificadas. Registros paleontológicos mostram também a fauna pleistocênica da região, composta por megafauna (preguiça e tatu gigante, tigre dente de sabre, entre outros).

O patrimônio geológico do Seridó precisa ser registrado, por isso este livro foi estruturado, como forma também de divulgação desse território potiguar, tão belo, vasto e rico, em geodiversidade e biodiversidade, em cultura, em pessoas.

Antes de tudo, fazemos, no primeiro capítulo, uma revisão bibliográfica sobre as principais temáticas que envolvem o patrimônio geológico: a geodiversidade, geoconservação e geoparques.

No capítulo dois tratamos sobre a relação entre os conceitos anteriormente citados e o exercício profissional em geologia.

No capítulo três, voltando o foco ao Geoparque Seridó, trazemos as características físicas e socioeconômicas da área, juntamente com um recorte histórico do projeto.

A geologia local é foco do capítulo quatro, que faz um comparativo da história da Terra com relógio de um dia, se fosse possível condensar todos os 4,5 bilhões de anos em 24h

O capítulo cinco apresenta todos os 21 geossítios do geoparque, com descrições geológicas sucintas, aliando também dados históricos e culturais.

O capítulo seis busca apresentar quais são os horizontes possíveis para o Geoparque Seridó.

Por fim, o capítulo sete traz, no idioma inglês, a descrição geológica do território que compõe o Geoparque Seridó.

Esperamos que em breve o “Aspirante” Geoparque Seridó seja efetivado pela UNESCO como mais um território na lista dos Geoparques Mundiais, vindo a se tornar o segundo no nordeste e no Brasil, fortalecendo esta região de Mulheres Guerreiras e Cabras da Peste, em que o patrimônio geológico único é mais uma riqueza que orgulha o povo e o incentiva a conservar a natureza.