



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 642

**ESTUDO PALEONTOLÓGICO DO LIMITE OLIGOCENO/
MIOCENO NAS FORMAÇÕES ILHA DE SANTANA E PIRABAS
NAS BACIAS PARÁ-MARANHÃO E BARREIRINHAS NA
PLATAFORMA EQUATORIAL NOROESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada por:

BEATRIZ TEIXEIRA GUIMARÃES

Orientador: Prof. Dr. Orangel Antonio Aguilera Socorro (UFPA)

BELÉM – PARÁ
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G963e Guimarães, Beatriz Teixeira.

Estudo paleontológico do limite Oligoceno/Mioceno nas formações Ilha de Santana e Pirabas nas bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas na plataforma equatorial noroeste do Brasil / Beatriz Teixeira Guimarães. — 2023.
x, 33 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Orangel Antonio Aguilera Socorro Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2023.

1. Micropaleontologia. 2. Carbonato. 3. Plataforma equatorial. 4. Petrografia. 5. Limite Oligoceno/Mioceno. I. Título.

CDD 560.47



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

**ESTUDO PALEONTOLÓGICO DO LIMITE
OLIGOCENO/MIOCENO NAS FORMAÇÕES ILHA DE
SANTANA E PIRABAS NAS BACIAS PARÁ-MARANHÃO
E BARREIRINHAS NA PLATAFORMA EQUATORIAL
NOROESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada por

BEATRIZ TEIXEIRA GUIMARÃES

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA e Linha de Pesquisa Geologia Marinha e Costeira.

Data de Aprovação: 14 / 12 / 2023

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br ORANGEL ANTONIO AGUILERA SOCORRO
Data: 27/12/2023 22:05:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Orangel Antonio Aguilera Socorro
(Orientador – UFPA/UFF)

Documento assinado digitalmente
gov.br CHRISTIANO NG
Data: 27/12/2023 14:53:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Christiano Ng
(Membro externo – PETROBRAS)

Documento assinado digitalmente
gov.br RODOLFO DINO
Data: 27/12/2023 19:43:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodolfo Dino (Membro
externo – UERJ)

Dedico este trabalho à todas as minhas versões, à Beatriz criança cheia de sonhos, à atual que se empenhou na construção desse projeto e à Beatriz do futuro, a excelente profissional que eu tenho certeza que serei. Dedico também a minha filha de quatro patas (Beck) pelo apoio emocional incondicional.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos à CAPES-BRASIL Código 001 pela concessão da bolsa de mestrado; às instituições que apoiaram esta pesquisa, sendo elas: à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à PETROBRAS, Brasil; à Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica; Universidade Federal Fluminense, Departamento de Biologia Marinha; à Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Nuclear; à Universidade do Estado do Rio de Janeiro; ao Museu Paraense Emílio Goeldi; Agradeço ao Marcelo Cohen, Vinicius Kütter, Daniel Lima, Hilton Costi, Maria Virginia Martins, Olga de Araújo, Ricardo Lópes, Geize Andrade Oliveira, Christiano Ng e Joelma Lobo pela valiosa assistência. Agradeço ao Orangel Aguilera pela orientação do projeto de mestrado no PPGG/UFGA e à Ana Paula Linhares por todo apoio durante essa trajetória. Finalmente, e não menos importante agradeço à minha prima/irmã Bruna Guimarães por todo apoio, eu te amo muito!

RESUMO

Afloramentos sedimentares carbonáticos da Formação Pirabas na Plataforma Bragantina, Norte do Brasil, representam a porção exposta de toda a sucessão carbonática na plataforma equatorial marinha de subsuperfície da Formação Ilha de Santana (Cretáceo/Maastrichtiano-Mioceno/Aquitânico), na Bacia Pará-Maranhão e da Formação Pirabas (Mioceno/Aquitânico-Serravaliano), na Bacia de Barreirinhas, ambas pertencentes ao Grupo Humberto de Campos. Os depósitos transgressivos, as inundações e o avanço da plataforma carbonática foram investigados através do estudo de afloramentos da Formação Pirabas (localidade tipo na Ilha de Fortaleza, estado do Pará) e do carbonato análogo da seção superior da Formação Ilha de Santana do poço -log 1-MAS-16-MA (510 a 660 metros abaixo do fundo do mar). As análises estratigráficas foram baseadas em petrografia, microCT, assembleias de microfósseis (foraminíferos, ostracodes e briozoários) e espécies-índice (*Amphistegina*, *Archaias*, *Pyrgo*, *Quinqueloculina*, *Pirabasoporella*, *Nellia*, *Skyllonia* e *Alpheus*), além da abordagem de biofácies. A fronteira entre a Formação Ilha de Santana (Aquitânico/Burdigaliano na seção 510–660 m de 1-MAS-16-MA) e a Formação Pirabas (Burdigaliano/Serravaliano no afloramento Ilha de Fortaleza) sugere que as fácies sedimentares de águas rasas são semelhantes às depositadas nas bacias marginais, e marca o início do fornecimento de siliciclásticos para a plataforma interna e a redução das fábricas de carbonato de algas coralinas.

Palavras-chave: micropaleontologia; carbonato; plataforma equatorial; petrografia; limite Oligoceno-Mioceno.

ABSTRACT

Sedimentary carbonate outcrops of the Pirabas Formation at the Bragantina Platform in North Brazil represent the exposed portion of the entire carbonate succession in the marine equatorial platform from the subsurface Ilha de Santana Formation (Cretaceous/Maastrichtian-Miocene/Aquitanian) in the Pará-Maranhão Basin and from the Formation Pirabas (Miocene/Aquitanian-Serravallian) in the Barreirinhas Basin, both from the Humberto de Campos Group. The transgressive deposit, flooding, and advance of the carbonate platform were investigated through the study of outcrops of the Pirabas Formation (type locality in the Ilha de Fortaleza, Pará state) and the analogous carbonate of the upper section of the Ilha de Santana Formation of the well-log 1- MAS-16-MA (510 to 660 meters below the seabed). The stratigraphic analyses were based on petrography, microCT, microfossil assemblages (foraminifers, ostracods, and bryozoans) and index species (*Amphistegina*, *Archaias*, *Pyrgo*, *Quinqueloculina*, *Pirabasoporella*, *Nellia*, *Skylonia*, and *Alpheus*), and biofacies approach. The boundary between the Ilha de Santana Formation (Aquitanian/Burdigalian at 510–660 m section of 1-MAS-16-MA) and the Pirabas Formation (Burdigalian/Serravallian at the Ilha de Fortaleza outcrop) suggests that shallow-water sedimentary facies are similar to those deposited in the marginal basins and marks the start of siliciclastic supplies to the inner platform and the reduction of coralline algal carbonate factories.

Keywords: micropaleontology; carbonate; equatorial platform; petrography; Oligocene-Miocene boundary.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- 1, Mapa esquemático da plataforma equatorial noroeste brasileira (modificado de Banha *et al.* 2022, Vale *et al.* 2022, Alvarado *et al.* 2023) na porção da Bacia Pará-Maranhão, seção-tipo da Formação Pirabas no afloramento de Ilha de Fortaleza, na planície costeira, e ponto de referência subsuperficial da Formação Ilha de Santana a partir do poço 1-MAS-16- MA. 2, Corte esquemático do 1-MAS-16 (seção de 510 a 660 m de profundidade). 3, Perfis detalhados dos transectos 1 e 2 nas imagens planimétricas mostrando os pontos de amostragem em Ponta do Castelo (PT1 – PT7), Ilha de Fortaleza. 4, perfil detalhado das amostras de imagens planimétricas mostrando os pontos de amostragem em Fazenda (FA1–FA7), Ilha de Fortaleza. 5–6, corte esquemático dos afloramentos Ponta do Castelo e Fazenda, respectivamente 5
- Figura 2- Localização e sucessão das bacias do Pará-Maranhão e Barreirinhas, mostrando a seção subsuperficial das formações Ilha de Santana e Pirabas do Grupo Humberto de Campos (modificado de Soares *et al.*, 2007 e Trosdtorf Jr. *et al.*, 2007). Quadro em vermelho indica a secção de interesse7
- Figura 3- 1–2, Seções de microCT digital; 3–12 fotomicrografia de seção delgada das amostras de calha da Formação Ilha de Santana (poço 1-MAS-16; profundidade de seção 570 m). 3, algas coralinas; 4–5, *Amphistegina*; 6, *Textularia*; 7–8, *Amphistegina*; 9, algas coralinas; 10, pequenos foraminíferos bentônicos e algas; 11, pequenos foraminíferos bentônicos; 12, algas coralinas. Abreviaturas: Alg = algas; Amphi = *Amphistegina*; Textu = *Textularia*; Victo = *Victoriella*10
- Figura 4- 1–2, Seções de microCT digital; 3–12, fotomicrografia de seção delgada petrográfica de amostras de calha da Formação Ilha de Santana (poço 1-MAS-16; profundidade de seção 522 m). 3, *Textularia*; 4–6, *Amphistegina*; 7, algas coralinas; 8, *Archaias*; 10, algas coralinas; 11, *Victoriella/ Carpenteria*; 12, *Amphistegina*. Abreviaturas: Alg = algas; Amphi = *Amphistegina*; Sphae = *Sphaerogypsina*11
- Figura 5- Diversidade fóssil da Formação Ilha de Santana (Bacia Pará-Maranhão, poço 1-MAS- 16, seção 510–660m). 1-6, *Amphistegina lessonii*; 7, *Sphaerogypsina* sp.; 8, *Victoriella* sp.; 9, *Archaias angulatus*; 10, *Planorbulinella* sp.; 11, *Pyrgo* sp.; 12, *Quinqueloculina* sp.; 13-17, Ostracode; 18, *Alpheus* sp.; 19, *Pirabasoporella atalaiensis*; 20, *Nellia* cf. *tenella*; 21-22, *Margaretta* sp.; 23, *Metrarabdotos* sp., 24-27, espinho e placa ambulacral de Equinoide; 28; ossículo de ophiuroide Gorgonocephalidae; 29-30, espículas de Desmospoge; 31-32, coral indeterminado; 33, Naticidae (cf. *Amauropsis*); 34, Marginillidae (cf. *Marginella*); 35-36, dente de peixe12
- Figura 6- Seções de microCT digital (coluna da esquerda) e fotomicrografia de seção delgada petrográfica (coluna dupla da direita) das amostras litificadas da Ilha de Fortaleza, afloramento Ponta do Castelo. 1, plugue PTA1; 2, *Amphistegina*; 3, briozoário; 4, *Textularia*; 5, briozoário.6, plugue PTA2; 7, algas coralinas; 8, ostracode; 9, algas e *Amphistegina*; 10, briozoário; 11. Plugue PTA6; 12, algas coralinas; 13, briozoários e pequenos foraminíferos bentônicos; 14, *Amphistegina*, pequenos foraminíferos bentônicos, equinoides e algas; 15, espinho de equinoide. Abreviaturas: Alg = algas; Amphi =

Amphistegina; Bryo = briozoários; Ento = *Entobia*; Pyr = *Pyrgo*; Quinq = *Quinqueloculina*; Text = *Textularia*; Trilo = *Triloculina*13

Figura 7- Cortes de microCT digital (coluna da esquerda) e fotomicrografia de seção delgada petrográfica (coluna dupla da direita) das amostras litificadas da Ilha de Fortaleza, afloramento Fazenda. 1, plugue FAZ1; 2, briozoário; 3, pequenos foraminíferos bentônicos; 4, 5, algas coralinas e briozoários; 6, plugue FAZ3; 7, algas coralinas; 8, pequenos foraminíferos bentônicos; 9, briozoário; 10, icnofóssil; 11, plugue FAZ6; 12, briozoário; 13, espinho de equinoide; 14, *Textularia*; 15, pequenos foraminíferos bentônicos e crustáceos decápodes. Abreviaturas: Alg = algas; Bryo = briozoários; Crust = crustáceo; Echin = equinodermos; For = foraminífero; Textu = *Textularia*15

Figura 8- Diversidade micropaleontológica da Formação Pirabas (afloramentos da Ilha de Fortaleza), São João de Pirabas, Pará, Brasil. 1, *Ammonia beccarii*; 2, *Amphistegina lessonii*; 3, *Archaias angulatus*; 4, *Bolivina* sp.; 5, *Cibicides* sp.; 6, *Cibicidoides wuellerstorfi*; 7, ?*Discorbis* sp.; 8, *Elphidium poeyanum*; 9, *Nonioella pirabensis*; 10, *Pyrgo depressa*; 11, *Pyrgo* cf. *inornata*; 12, *Pyrgo subsphaerica*; 13, *Pyrgo* sp.; 14, *Quinqueloculina lamarckiana*; 15, *Quinqueloculina fusiformes*; 16, *Triloculina oblonga*; 17, *Uvigerina peregrina*; 18, *Globigerina bulloides*; 19, *Globigerina* sp.; 20, *Globigerinella* sp.; 21, *Globigerinoides subquadratus*; 22, *Globoturbotalita* sp.; 23, *Aurila amygdala*, 24, *Aurila* cf. *cicatricosa*; 25, ?*Cativella* sp.; 26, ?*Cytheridea* sp. ; 27, *Cytherella* cf. *notossinuosa*; 28, *Cytherelloidea mediocythara*; 29, *Cytheretta* cf. *punctata*; 30, *Cushmanidea* sp.; 31, *Quadracythere* sp. 1; 32, *Quadracythere* sp. 2; 33, *Gangamocytheridea* sp.; 34, *Neocaudites* sp.; 35, *Neonesidea amygdaloides*; 36, *Neonesidea* sp.; 37, *Paracypris* sp.; 38, *Propontocypris* sp.; 39, *Pellucistoma ?magniventra*; 40, *Puriana rugipunctata*; 41, *Semicytherura* sp.; 42, *Xestoleberis ?dactylotypa*; 43, *Alpheus* sp. Escala: 200 µm.....16

Figura 9- Diversidade de microfósseis da Formação Pirabas (Ilha de Fortaleza, Ponta do Castelo e Fortaleza outcrops). 1, *Bugula* sp; 2, *Catenicella* sp.; 3, *Pirabasoporella atalaiensis*; 4, Cyclostomatida; 5, *Pasythea* sp.; 6, *Nellia tenella*; 7, *Skyllonia* sp.; 8, *Crisia* sp.; 9, *Metrarabdotos*; 10, ind.; 11, *Buguloidea*; 12-15, espículas de esponjas; 16-17, echinoids spines; 19-20, gastrópodos; 21, denticulo dérmico de tubarão; 22, dente de tubarão; 23, dente de peixe17

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRAT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 CENÁRIO GEOLÓGICO	3
3 OBJETIVOS	6
3.1 GERAL.....	6
3.2 ESPECÍFICOS.....	6
4 MATERIAIS E MÉTODOS	6
5 RESULTADOS	9
5.1 FORMAÇÃO ILHA DE SANTANA (1-MAS-16-MA, SEÇÃO 510 A 660 M).....	9
5.2 FORMAÇÃO PIRABAS A PARTIR DA LOCALIDADE-TIPO: ILHA DE FORTALEZA.....	13
6 DISCUSSÃO	18
6.1 ASSEMBLEIAS FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO ILHA DE SANTANA NA SEÇÃO 510–660 M.....	18
6.2 ASSEMBLEIAS FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO PIRABAS NOS AFLORAMENTOS DA ILHA DE FORTALEZA	21
7 CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS	26
ANEXO A - SUBMISSÃO DE MANUSCRITO PARA A REVISTA JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES	32

1 INTRODUÇÃO

O Cenozoico é caracterizado por notáveis mudanças climáticas e paleoceanográficas globais como as registradas durante a transição entre o Oligoceno e o Mioceno. Estas mudanças resultaram da alternância de períodos frios e quentes, juntamente com flutuações nos níveis do mar, que tiveram impactos consideráveis nos ecossistemas marinhos (Steinthorsdottir *et al.* 2021 e referências citadas).

Ao longo do Oligoceno até ao início do Mioceno, as massas de gelo continentais exibiram um padrão relativamente instável, marcado por fases substanciais de crescimento e decadência que se correlacionaram com variações nos níveis do mar, abrangendo aproximadamente de 40 a 60 m (Miller *et al.* 2020). Dada a natureza fragmentada e descontínua do registo geológico relativo às plataformas continentais, a compreensão de como os ambientes de águas marinhas rasas responderam globalmente às oscilações climáticas, durante este intervalo do Oligoceno ao início do Mioceno, permanece limitada (Alvarado *et al.* 2023).

No entanto, a atual plataforma equatorial brasileira exhibe uma composição distinta de depósitos mistos de carbonato-siliciclásticos (Testa & Bosence 1999, Mahiques *et al.* 2019). Esses depósitos contêm predominantemente elementos bioclásticos, compostos principalmente por heterozoários de águas rasas (*sensu* James 1997, Michel *et al.* 2018). Também é importante notar que a transição Oligoceno-Mioceno, um evento ambiental significativo (Rossetti *et al.* 2013), não coincide com a grande renovação faunística esperada (Alvarado *et al.* 2023). A renovação da fauna dentro da Formação Ilha de Santana na Bacia do Pará-Maranhão, Brasil, ocorre durante o final do Mioceno inferior até o início do Mioceno médio (Burdigaliano: 20,44–15,98 Ma a Languiano 15,98–13,82 Ma). Esse padrão também é observado na Bacia de Campos (BouDagher-Fadel *et al.* 2010, Alvarado *et al.* 2023).

Durante o Mioceno médio (Languiano: 15,98–13,82 Ma a Serravaliano: 13,82–11,63 Ma), registra-se flutuações climáticas globais significativas, começando com um clima mais quente durante o Ótimo Climático do Mioceno Médio (MMCO), em comparação com aquele do final do Oligoceno - início da transição do Mioceno e seguida por uma expansão notável da camada de gelo da Antártica, durante a Glaciação do Mioceno médio (MMG) (Frigola *et al.* 2018, Methner *et al.* 2020).

Finalmente, o final do Mioceno na costa equatorial brasileira foi caracterizado pelo estabelecimento do Delta do Rio Amazonas, pela progradação da Formação Barreiras e pelo colapso dos produtores de carbonato (Figueiredo *et al.* 2007, Rossetti *et al.* 2013, Cruz *et al.* 2019, Nogueira *et al.* 2021, Aguilera *et al.* 2022).

Segundo Soares *et al.* (2007) e Trosdorf Jr. *et al.* (2007), que apresentaram a carta cronoestratigráfica da PETROBRAS e as descrições das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas na plataforma equatorial do Brasil, tem havido uma considerável escassez de trabalhos de pesquisa destinados a confirmar e atualizar nossa compreensão sobre a paleoestratigrafia e geocronologia dos depósitos carbonato-siliciclásticos nessas bacias. Essa escassez enfatiza a necessidade de contribuições abrangentes para validar e aprimorar o conhecimento existente sobre essas bacias, com foco particular na seção superior da Formação Miocena Ilha de Santana, que é registrada na bacia de Barreirinhas. Uma distinção significativa surge no registro da Formação Pirabas na Bacia de Barreirinhas, enquanto está ausente na seção coeva da Formação Ilha de Santana na Bacia Pará-Maranhão.

Os depósitos carbonato-siliciclásticos do Mioceno da Formação Pirabas estão bem documentados em afloramentos e minas de calcário costeiras marinhas no Estado do Pará (Aguilera *et al.* 2022). No entanto, a correlação das sucessões sedimentares carbonáticas entre a sucessão subsuperficial da Formação Ilha de Santana na Bacia Pará-Maranhão, a seção subsuperficial das formações Ilha de Santana e Pirabas na Bacia de Barreirinhas e os afloramentos expostos da planície costeira da Formação Pirabas, no estado do Pará, requer uma interpretação cuidadosa. Esta correlação é essencial para esclarecer as significativas mudanças paleoambientais do Mioceno e os colapsos da biota, especialmente o declínio dos produtores de carbonato, incluindo algas coralinas e assembleias de invertebrados heterozoários.

Deste modo, uma análise abrangente e integrada é necessária para elucidar a sequência sedimentar de transição entre a sucessão de subsuperfície Aquitaniano-Languiano da Formação Ilha de Santana (510–660 metros abaixo do nível do mar) e os afloramentos costeiros da Formação Pirabas do Burdigaliano-Serravaliano. Esta análise deve abranger múltiplos aspectos, incluindo litologia, petrografia, paleontologia (foraminíferos, ostracodes e briozoários), e interpretações paleoambientais.

2 CENÁRIO GEOLÓGICO

A Formação Ilha de Santana (Abreu *et al.* 1986, Soares *et al.* 2007, Zalán 2015, Pellegrini & Ribeiro 2018) é uma importante unidade geológica do Grupo Humberto de Campos na Bacia Pará-Maranhão, parte da Plataforma Equatorial Marinha do Brasil. Esta formação ocorre desde o Cretáceo-Maastrichtiano e, ainda, compreende um extenso pacote carbonático que abrange uma porção substancial do Cenozoico, apresentando uma sucessão diversificada de calcarenitos, calciruditos, calcilutitos, margas, xistos e argilitos.

Na seção superior do núcleo 1-MAS-16-MA (entre 510 e 660 m), conforme investigado por Alvarado *et al.* (2023), sugere-se evidências de uma idade que vai do Serravaliano ao Aquitaniano. Este intervalo representa a biofácies inicial (BF-1) da Formação Ilha de Santana, dominada por fragmentos de algas calcárias e grandes foraminíferos bentônicos (GFB). Os amphisteginídeos são os GFB predominantes, com ocorrências menores de soritídeos e pequenos foraminíferos bentônicos (tanto hialinos quanto porcelanáceos). No entanto, foraminíferos bentônicos incrustantes, moluscos, briozoários, corais e equinodermos são relativamente escassos.

A Formação Pirabas (Maury 1925) é bem reconhecida em afloramentos de planícies costeiras em municípios como Maracanã, Salinópolis e São João de Pirabas, bem como em minas de calcário em Capanema e Primavera, todas localizadas no Estado do Pará, ao longo do Atlântico Nordeste, litoral do Brasil. Esta unidade representa uma mistura de depósitos carbonático-siliciclásticos de águas rasas (Rossetti *et al.* 2013, Aguilera *et al.* 2022), abrangendo desde o final do Mioceno inferior até o final do Mioceno médio (Gomes *et al.* 2023).

Destaca-se por seus notáveis leitos de algas coralinas associadas a uma rica diversidade de fauna micro e macrofóssil marinha, composta principalmente por foraminíferos, ostracodes, esponjas, moluscos, equinoides, ofiuroides, asteroides, crinoides, briozoários, crustáceos decápodes, peixes, mamíferos sirenídeos e icnofósseis, conforme documentado em numerosos estudos (por exemplo, Aguilera & Pães 2012, Aguilera *et al.* 2017, Ramalho *et al.* 2019, Lima *et al.* 2020a, b, Bencomo *et al.* 2021, Araújo *et al.* 2021, Kerber & Moraes-Santos 2021, Lima *et al.* 2021, Aguilera *et al.* 2023).

Aguilera *et al.* (2022) distinguem quatro fácies principais dentro da Formação Pirabas: i) α_1 , plataforma offshore de águas rasas dominada por equinodermos e briozoários e caracterizada por *packstone* a *rudstone* (com $\leq 10\%$ de conteúdo siliciclástico na rocha); ii) α_2 , plataforma interna de águas rasas, compreendendo *wackestone* rico em siliciclástico a

packstone (com teor de siliciclástico variando entre 10% e 30%); iii) β , planície costeira rasa dominada por arenito siliciclástico de granulação fina a argilito (com $\geq 50\%$ de conteúdo siliciclástico); e, iv) Y, planície costeira restrita de manguezais marginais dominados por grãos angulares do tamanho de areia, nódulos ricos em ferro e fósseis piritizados. Esses paleoambientes variam desde a zona marginal de manguezal até a zona de arrebentação e fundos arenosos de águas rasas (Aguilera *et al.* 2020a,b). Incluem também as áreas da plataforma interna a média influenciada por tempestades tropicais de alta energia (Aguilera *et al.* 2023).

Notavelmente, a Formação Pirabas também é registrada em seções de subsuperfície da Bacia de Barreirinhas, dentro do Grupo Humberto de Campos, sobrepondo-se à Formação Ilha de Santana (Pamplona 1969, Trosdorf Jr. *et al.* 2007), na plataforma carbonática equatorial brasileira (ver Cruz *et al.* 2019). No entanto, atualmente não há trabalhos de pesquisa específicos disponíveis que forneçam informações detalhadas sobre micropaleontologia, estruturas carbonáticas, geoquímica ou bioestratigrafia abrangente para os depósitos de subsuperfície da Formação Pirabas, na Bacia de Barreirinhas. Trosdorf Jr. *et al.* (2007) mencionam brevemente a dinâmica sedimentar da Formação Pirabas dentro da supersequência derivada, com divisões incluindo N80-N10 (depósito transgressivo na margem equatorial), N20-N30 (inundação e avanço da plataforma carbonática) e N40-N50 (rápido avanço da plataforma de carbonato). No entanto, detalhes específicos não são fornecidos.

A assembleia de microfósseis de transição, na seção superior, remonta de perto uma sequência sedimentar que se estende pela planície costeira marginal margeando a Bacia Pará-Maranhão, no expressivo depósito carbonático-siliciclástico de águas rasas do final do Mioceno inferior ao final do Mioceno médio da Formação Pirabas e a seção superior (entre 510 e 660 m) da Formação Ilha de Santana.

Tanto a Formação Ilha de Santana (Aquitânico/Burdigaliano na seção de 510–660 m de 1-MAS-16-MA) quanto a Formação Pirabas (Burdigaliano/Serravaliano nos afloramentos de Ilha de Fortaleza) (Fig. 1), sugerem que fácies sedimentares de águas rasas e assembleias de microfósseis são semelhantes aos depositados nas bacias marginais, e marcam o início do fornecimento de siliciclásticos para a plataforma interna e a redução das fábricas de carbonato de algas coralinas.

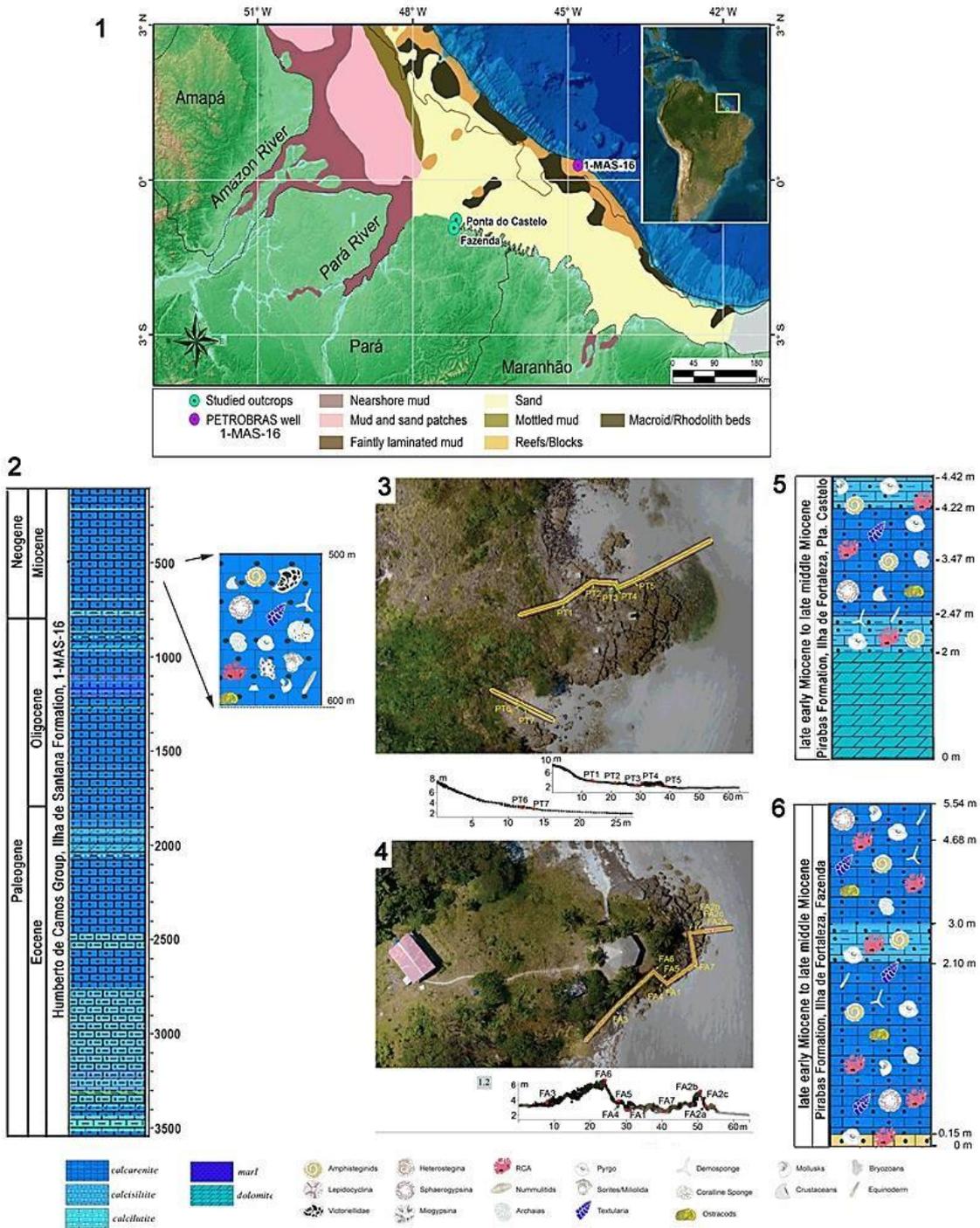


Figura 1- 1, Mapa esquemático da plataforma equatorial noroeste brasileira (modificado de Banha *et al.* 2022, Vale *et al.* 2022, Alvarado *et al.* 2023) na poro da Bacia Pará-Maranhão, seo-tipo da Formao Pirabas no afloramento de Ilha de Fortaleza, na planície costeira, e ponto de referência subsuperficial da Formao Ilha de Santana a partir do poço 1-MAS-16- MA. 2, Corte esquemático do 1-MAS-16 (seo de 510 a 660 m de profundidade). 3, Perfis detalhados dos transectos 1 e 2 nas imagens planimétricas mostrando os pontos de amostragem em Ponta do Castelo (PT1 – PT7), Ilha de Fortaleza. 4, perfil detalhado das amostras de imagens planimétricas mostrando os pontos de amostragem em Fazenda (FA1–FA7), Ilha de Fortaleza. 5–6, corte esquemático dos afloramentos Ponta do Castelo e Fazenda, respectivamente.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Investigar a sucessão carbonática-siliciclástica na transição entre as formações Ilha de Santana e Pirabas (limite Oligoceno/Mioceno) das bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas, na plataforma equatorial noroeste do Brasil.

3.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterização micropaleontológica e petrográfica da Formação Ilha de Santana na seção 510–660 m (Aquitânico–Languiano) do testemunho 1-MAS-16-MA e da Formação Pirabas (Burdigaliano–Serravaliano) nos afloramentos da seção-tipo, na Ilha de Fortaleza, Pará, Brasil.
- ✓ Analisar o elemento que justifique ou não o registro da Formação Pirabas na seção da Formação Ilha de Santana, na Bacia Pará-Maranhão.
- ✓ Fortalecer a interpretação paleoceanográfica e paleoambiental de eventos climáticos extremos e do colapso do carbonato da Plataforma Continental Equatorial do Brasil.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado da Formação Ilha de Santana, Grupo Humberto de Campos, Brasil, Oligoceno-Mioceno (Figs. 1, 2), abrange 11 amostras de calhas (cortes) retiradas do poço 1-MAS-16-MA, entre 510 e 660 m na Bacia Pará-Maranhão, situada na plataforma equatorial do Brasil (0° 14'9,3" N, 44° 48'21,3" W). A operação de perfuração começou a 70 m de profundidade e localizou-se a aproximadamente 200 km da costa. O testemunho foi cedido pela Agência Nacional do Petróleo (ANP, Protocolo SAA 46.19), juntamente com os dados de perfuração de poços associados (Protocolo 48610.211469/2019-39) para posterior análise.

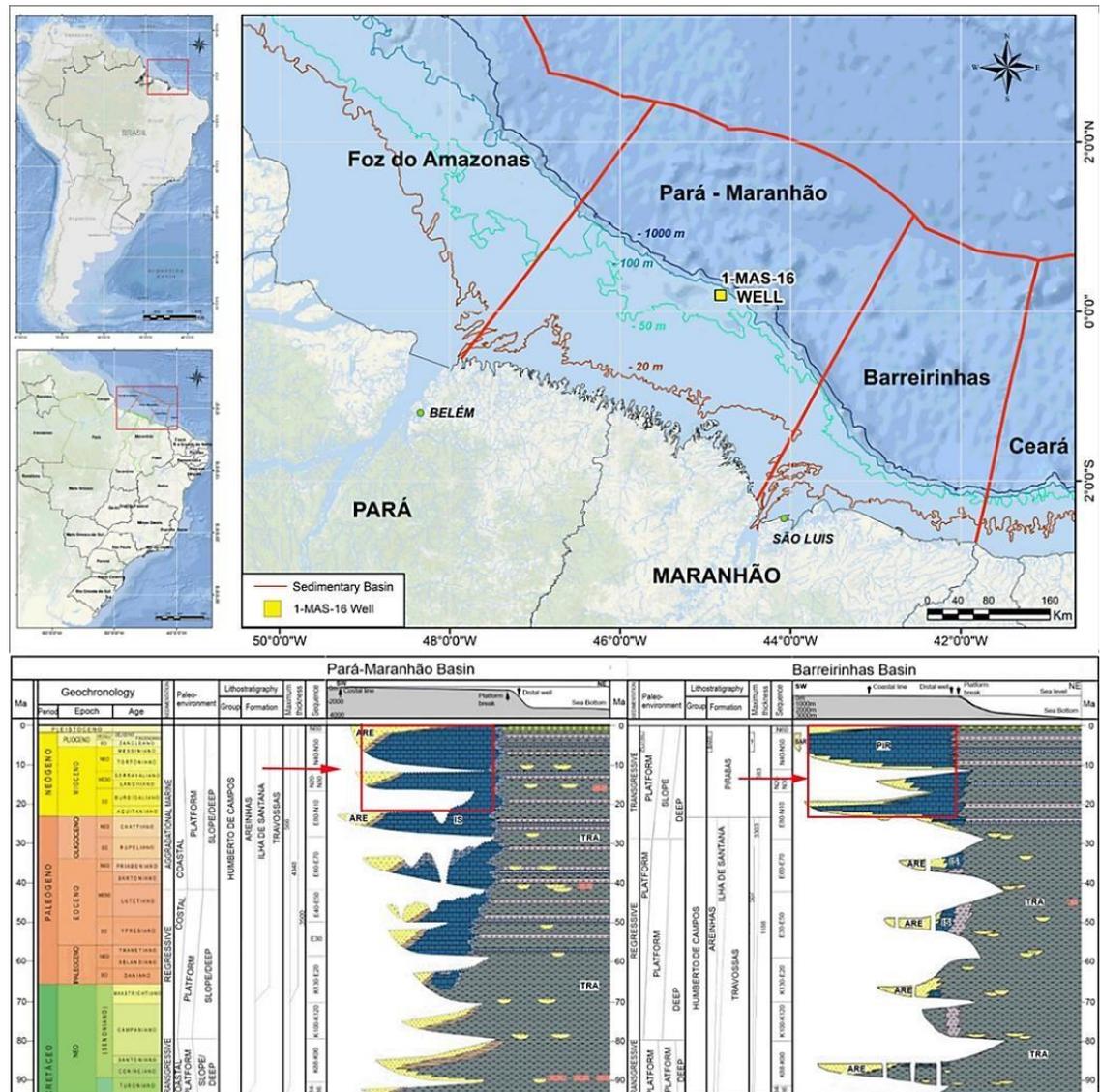


Figura 2- Localização e sucessão das bacias do Pará-Maranhão e Barreirinhas, mostrando a seção subsuperficial das formações Ilha de Santana e Pirabas do Grupo Humberto de Campos (modificado de Soares *et al.* 2007 e Trosdorf Jr. *et al.* 2007). Quadro em vermelho indica a seção de interesse.

Para preparar as subamostras de calha, medindo 3 cm³ cada, retiradas das profundidades 510, 522, 534, 540, 552, 558, 570, 588, 624, 642 e 660 m, seguiu-se uma série de etapas, as quais incluíram exposição ao ácido acético (CH₃COOH) por três minutos, seguida de lavagem, peneiramento e secagem. Após esse processamento inicial, os espécimes foram meticulosamente triados e observados ao estereomicroscópio.

Adicionalmente, amostras da Formação Pirabas, extraídas da localidade-tipo Ilha de Fortaleza (Ponta do Castelo: 0°40'55,69" S, 47°10'13,30" W, e Fazenda: 0°42'43,79" S, 47°9'58,65" W), município de São João de Pirabas, estado do Pará, Brasil, datadas do Mioceno

(Burdigaliano – Serravaliano) (Fig. 1), eram compostas por 13 blocos rochosos, cada um pesando aproximadamente um quilograma. As amostras foram coletadas de acordo com sua distinta caracterização litológica. Esses blocos foram desagregados em água quente a 70 °C, peneirados e depois processadas em laboratório usando malhas de 500 µm, 250 µm, 125 µm e 63 µm. Em seguida, foram triadas usando um estereomicroscópio. As amostras selecionadas foram posteriormente preparadas para imagens em microscópio eletrônico de varredura (MEV) TESCAN Mira3 (SEM), com emissão de campo tipo canhão de elétrons. As amostras foram fixadas em suportes de alumínio com um diâmetro de 12 mm, usando fita adesiva dupla-face de carbono, seguida de metalização com uma fina camada de Au durante um período de 150 segundos, criando uma espessura média de filme de 12 nm. As imagens foram capturadas usando detecção de elétrons secundários, utilizando uma aceleração de tensão de 5 kv e uma distância de trabalho de aproximadamente 15 mm.

Para ambas as amostras das formações Ilha de Santana e Pirabas, alguns fósseis foram selecionados e submetidos à microtomografia computadorizada (microCT) para gerar imagens digitais de volumetria 3D. Estas imagens foram então sujeitas a um exame detalhado das suas morfologias externas e internas usando um V | Tomo | x M (GE Measurement & Control Solutions, Wunstorf, Alemanha). O software Phoenix Data foi usado para reconstruções 3D, incorporando alinhamento de fatias, correção de endurecimento de feixe, redução de artefatos de anel e aplicação de um filtro matemático de aprimoramento de borda, para melhorar o contraste da amostra. As visualizações 3D foram realizadas utilizando o software VG Studio Max v 3.0, com edição adicional de imagens realizada no Adobe Photoshop.

Em conjunto com essas análises, 12 seções delgadas petrográficas foram preparadas a partir de subamostras de calha, obtidas da seção da Formação Ilha de Santana (510–660 m), enquanto 19 seções delgadas petrográficas foram geradas a partir dos afloramentos da Formação Pirabas, na Ilha de Fortaleza, para análises qualitativas e quantitativas. Estas amostras foram fixadas em lâminas de vidro de 76 x 26 mm e polidas até uma espessura de 30 µm. As fotomicrografias foram obtidas utilizando um microscópio petrográfico AXIO Lab A1 (Zeiss), equipado com sistema digital integrado Axiocam Erc 5s.

5 RESULTADOS

5.1 FORMAÇÃO ILHA DE SANTANA (1-MAS-16-MA, SEÇÃO 510 A 660 M).

A litologia e as características petrográficas desta seção indicam principalmente depósitos de calcarenitos, compostos principalmente por materiais bioclásticos. Os componentes bioclásticos primários compreendem algas coralinas incrustantes e articuladas, com uma abundância notável de grandes espécies de foraminíferos bentônicos, como soritídeos, nummulitídeos, planorbúlídeos, amphisteginídeos e pequenos textularídeos (Figs. 3 e 4). Outros componentes bioclásticos incluem briozoários e equinóides. No entanto, a presença de ostracodes, esponjas, moluscos, cirrípedes, crustáceos decápodes e restos de peixes é relativamente rara.

A assembleia fóssil encontrada na Formação Ilha de Santana é majoritariamente representada por: algas coralinas (Corallinales, principalmente da família Corallinaceae); Porifera (Demospongiae); Foraminíferos (Amphisteginidae, Nummulitidae, Planorbulinidae, Soritidae e Textularidae); ostracodes (Bairdiidae, Hemicocytheridae e Thaerocytheridae); briozoários (Jaculinidae e Steginoporellidae); crinóides (Comatulidae); ofiuroídeos (Gorgonocephalidae); crustáceos decápodes (Alpheidae); e peixes teleósteos (Fig. 5, Tabela 1).

O paleoambiente desta seção é caracterizado por densos leitos de bioclastos compostos principalmente por algas coralinas, associados à epifauna que habita águas rasas, caracterizada por condições oligotróficas, níveis normais de salinidade e temperaturas de águas quentes. Este ambiente está situado na plataforma marinha interna, relativamente distante das influências costeiras e longe da entrada de sedimentos terrígenos da costa.

Ambas as assembleias de macro e microfósseis desta seção fornecem evidências que sugerem um intervalo de idade do Mioceno inferior a médio. Esta evidência é apoiada pela presença de briozoários como *Pirabasoporella atalaiensis*, *Nellia* cf. *tenella* e *Skylonia* sp., decápodes como *Alpheus*, abundância de *Amphistegina lessonii* e a ocorrência comum de espécies como *Archaias angulatus*, *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp. e *Sphaerogypsina* sp. Por outro lado, a ausência de *Lepidocyclina* e *Miogypsina* distingue esta seção superior das seções mais profundas. A idade estimada alinha-se com a Biozona IS-1, Biofácies 1, caracterizada pela assembleia de *Amphistegina* – *Sphaerogypsina*, e às análises U/Pb, sugerindo a idade Burdigaliano – Languiano discutida em Alvarado *et al.* (2023).

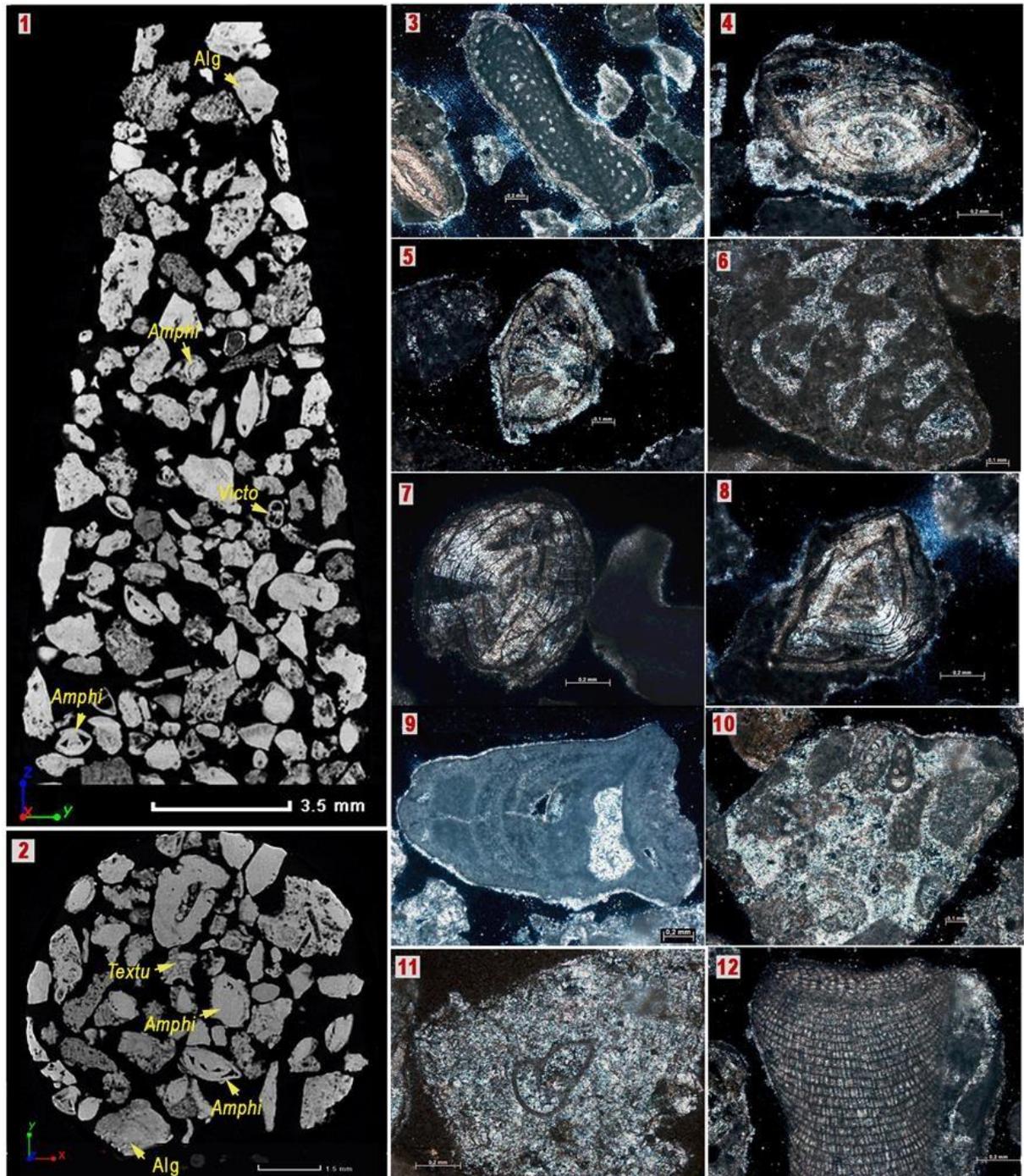


Figura 3- 1–2, Seções de microCT digital; 3–12 fotomicrografia de seção delgada das amostras de calha da Formação Ilha de Santana (poço 1-MAS-16; profundidade de seção 570 m). 3, algas coralinas; 4–5, *Amphistegina*; 6, *Textularia*; 7–8, *Amphistegina*; 9, algas coralinas; 10, pequenos foraminíferos bentônicos e algas; 11, pequenos foraminíferos bentônicos; 12, algas coralinas. Abreviaturas: Alg = algas; Amphi = *Amphistegina*; Textu = *Textularia*; Victo = *Victoriella*.

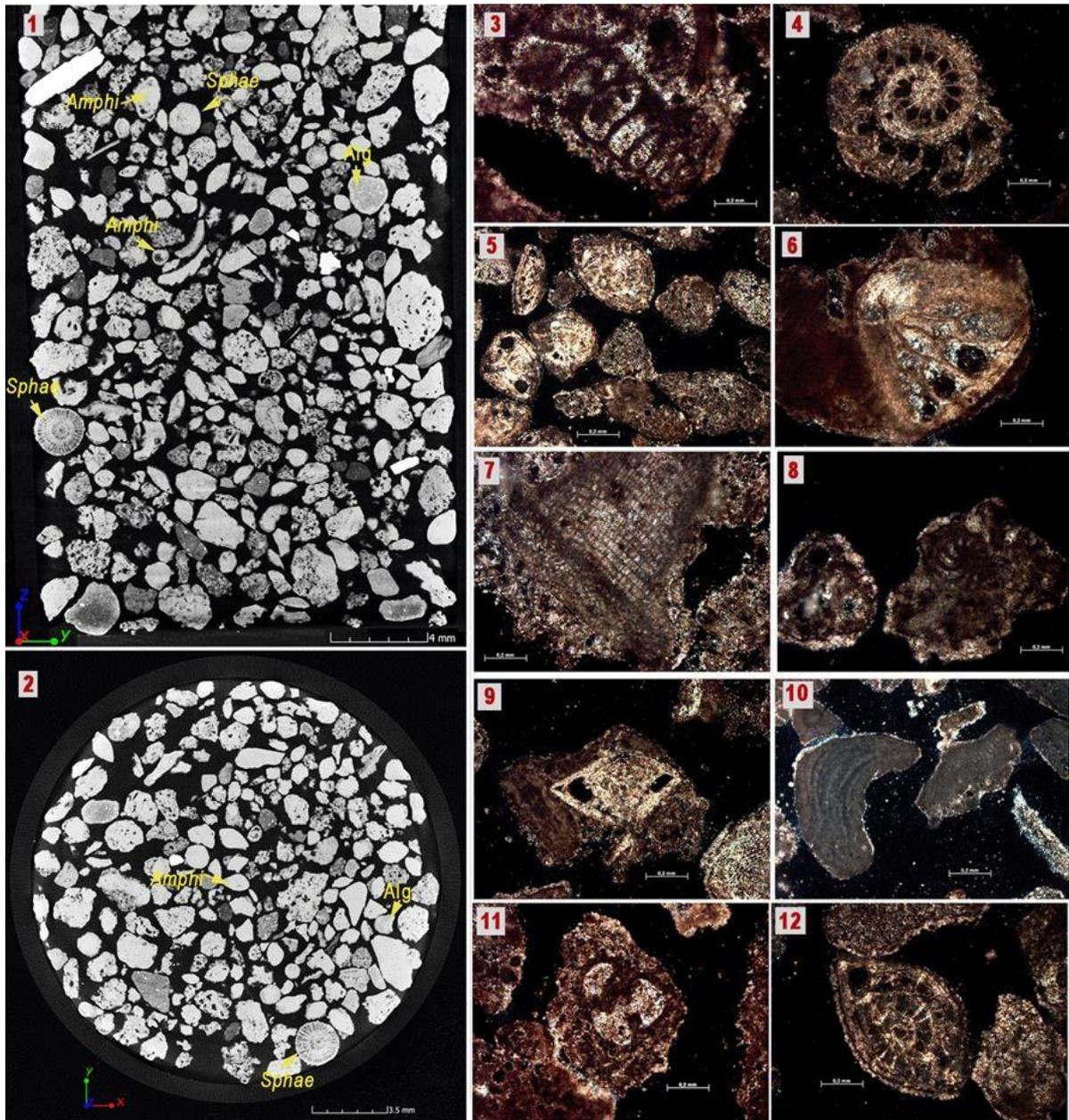


Figura 4- 1–2, Seções de microCT digital; 3–12, fotomicrografia de seção delgada petrográfica de amostras de calha da Formação Ilha de Santana (poço 1-MAS-16; profundidade de seção 522 m). 3, *Textularia*; 4–6, *Amphistegina*; 7, algas coralinas; 8, *Archaias*; 10, algas coralinas; 11, *Victoriella/Carpenteria*; 12, *Amphistegina*. Abreviaturas: Alg = algas; Amphi = *Amphistegina*; Sphae = *Sphaerogypsina*.

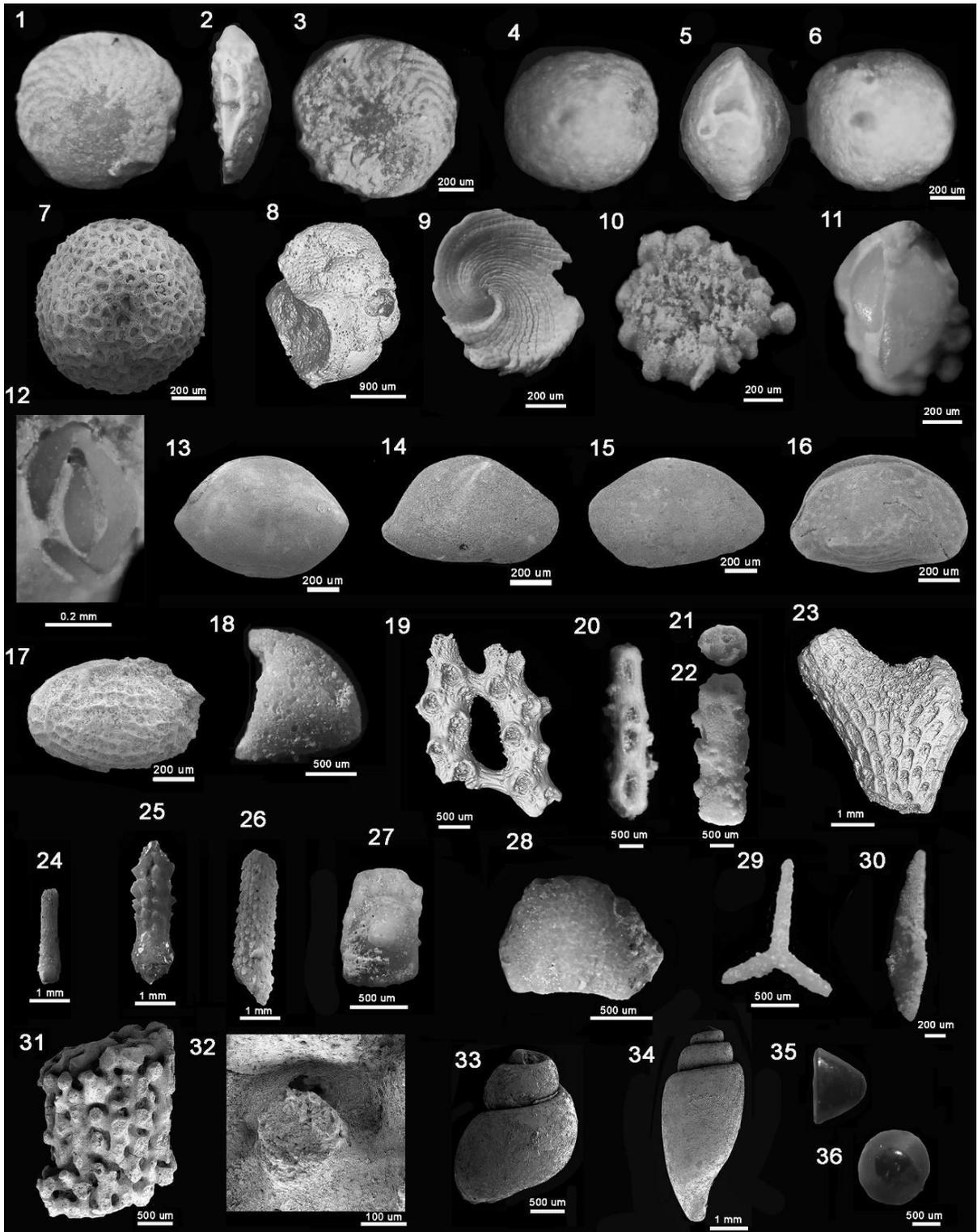


Figura 5- Diversidade fóssil da Formação Ilha de Santana (Bacia Pará-Maranhão, poço 1-MAS- 16, seção 510–660m). 1-6, *Amphistegina lessonii*; 7, *Sphaerogypsina* sp.; 8, *Victoriella* sp.; 9, *Archaias angulatus*; 10, *Planorbulinella* sp.; 11, *Pyrgo* sp.; 12, *Quinqueloculina* sp.; 13-17, Ostracode; 18, *Alpheus* sp.; 19, *Pirabasoporella atalaiensis*; 20, *Nellia* cf. *tenella*; 21-22, *Margaretta* sp.; 23, *Metrarabdotos* sp., 24-27, espinho e placa ambulacral de Equinoide; 28; ossículo de ophiuroide Gorgonocephalidae; 29-30, espículas de Desmospoge; 31-32, coral indeterminado; 33, Naticidae (cf. *Amauropsis*); 34, Margenillidae (cf. *Marginella*); 35-36, dente de peixe.

5.2 FORMAÇÃO PIRABAS A PARTIR DA LOCALIDADE-TIPO: ILHA DE FORTALEZA

No afloramento da Ponta do Castelo, os dados da litologia e da petrografia indicam uma sequência caracterizada principalmente de *packstone* a *grainstone*, grãos terrígenos, predominantemente do tamanho de areia e possuindo formas subangulares a subarredondadas. Os componentes bioclásticos primários consistem em espinhos de equinóides, provavelmente de cidarídeos, bem como fragmentos de briozoários jaculinídeos e quadricelariídeos. A assembleia de foraminíferos compreende pequenos miliolídeos, textularídeos, soritídeos, pequenos rotalídeos e grandes amphisteginídeos (Fig. 6, Tabela 1).

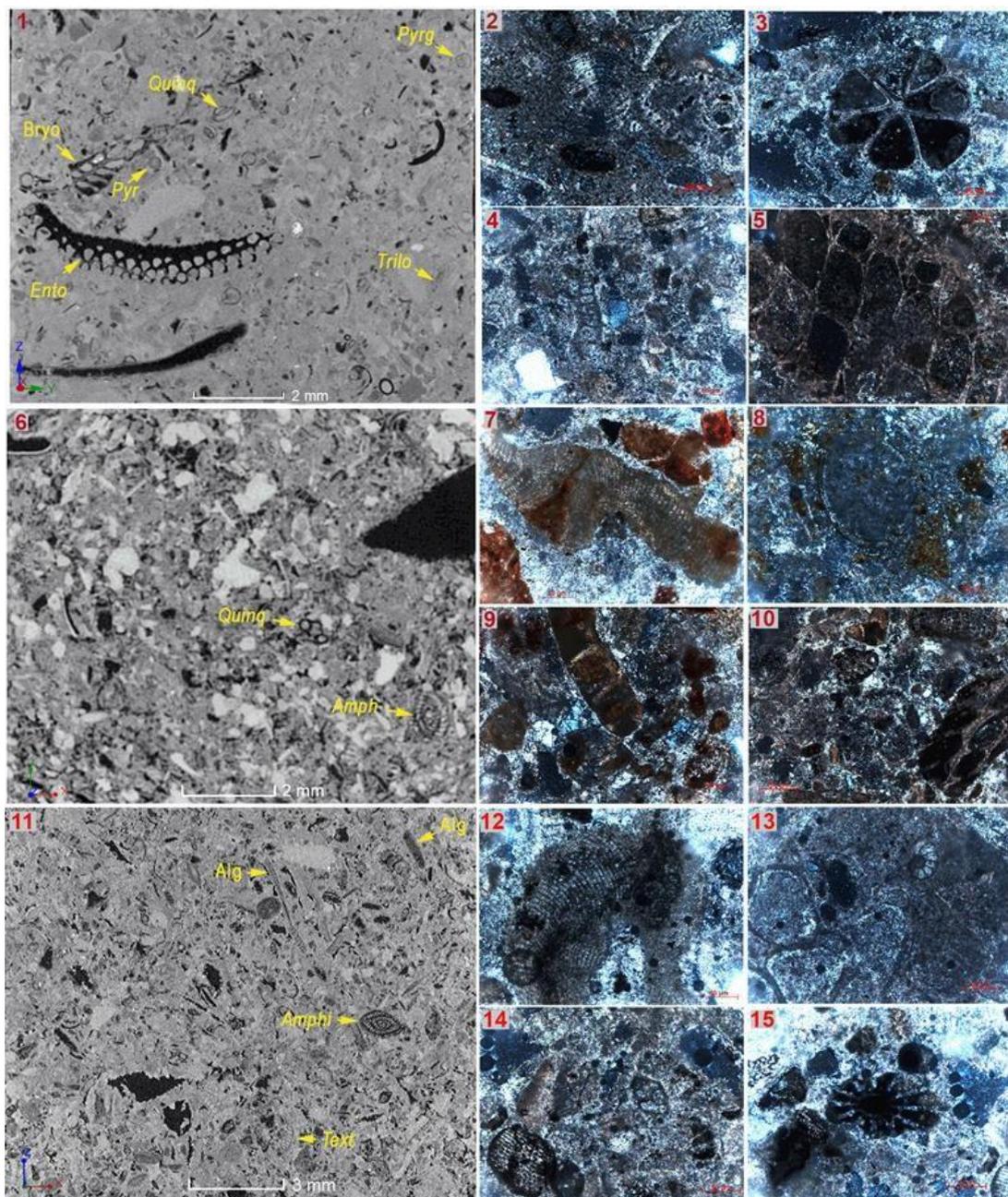


Figura 6- Seções de microCT digital (coluna da esquerda) e fotomicrografia de seção delgada petrográfica (coluna dupla da direita) das amostras litificadas da Ilha de Fortaleza, afloramento Ponta do Castelo. 1, plugue PTA1; 2, *Amphistegina*; 3, briozoário; 4, *Textularia*; 5, briozoário. 6, plugue PTA2; 7, algas coralinas; 8, ostracode; 9, algas e *Amphistegina*; 10, briozoário; 11. Plugue PTA6; 12, algas coralinas; 13, briozoários e pequenos foraminíferos bentônicos; 14, *Amphistegina*, pequenos foraminíferos bentônicos, equinoides e algas; 15, espinho de equinoide. Abreviaturas: Alg = algas; Amphi = *Amphistegina*; Bryo = briozoários; Ento = *Entobia*; Pyr = *Pyrgo*; Quinq = *Quinqueloculina*; Text = *Textularia*; Trilo = *Triloculina*.

Por outro lado, no afloramento Fazenda, a litologia é caracterizada por *packstone* de granulação grossa, com grãos terrígenos do tamanho de areia subangulares a subarredondados. Os componentes bioclásticos primários incluem briozoários e equinoides, seguidos por fragmentos de moluscos. A assembleia de foraminíferos consiste em pequenos miliólídeos, rotalídeos, soritídeos, textularídeos e grandes amphisteginídeos (Fig. 7, Tabela 1).

A assembleia fóssil da Formação Pirabas inclui predominantemente macro fósseis como: i) moluscos (bivalves e gastrópodes) normalmente habitando águas rasas, litorais arenosos com ervas marinhas, manguezais, praias arenosas e fundos consolidados; ii) equinodermos (equinoides, crinoides e ofiuroides) que habitam águas rasas sobre fundos arenosos; iii) briozoários (incrustantes, eretos e livres), encontrados principalmente em conchas, testas e fundos consolidados; iv) corais (ahermatípicos), principalmente em ambientes de águas rasas com fundos moles; v) crustáceos (cirrípedes e decápodes) normalmente encontrados em águas rasas, litorais arenosos, ervas marinhas e manguezais; vii) peixes (tubarões, raias e teleósteos) exibindo hábitos demersais e pelágicos (Tabela 1; ver Aguilera *et al.* 2023 e referências citadas para paleoambiente detalhado). Os microfósseis compreendem i) algas coralinas incrustantes e articuladas; ii) esponjas; iii) foraminíferos; iv) ostracodes; e v) briozoários (Figs. 8, 9; Tabela 1; Aguilera *et al.* 2023).

Com base na diversidade de assembleias de macro e microfósseis, litologia e dados de petrografia, os afloramentos de Ponta do Castelo e Fazenda sugerem um paleoambiente caracterizado por águas tropicais limpas e rasas dentro da plataforma interna, com mínimo aporte de terrígenos. A estratigrafia e as assembleias faunísticas apontam para uma idade que varia entre o final do Mioceno inferior e o final do Mioceno médio. Estes dados são consistentes com os resultados obtidos com análise palinológica (Gomes *et al.* 2023) e estão de acordo com a determinação da idade no topo do poço 1-MAS-16-MA.

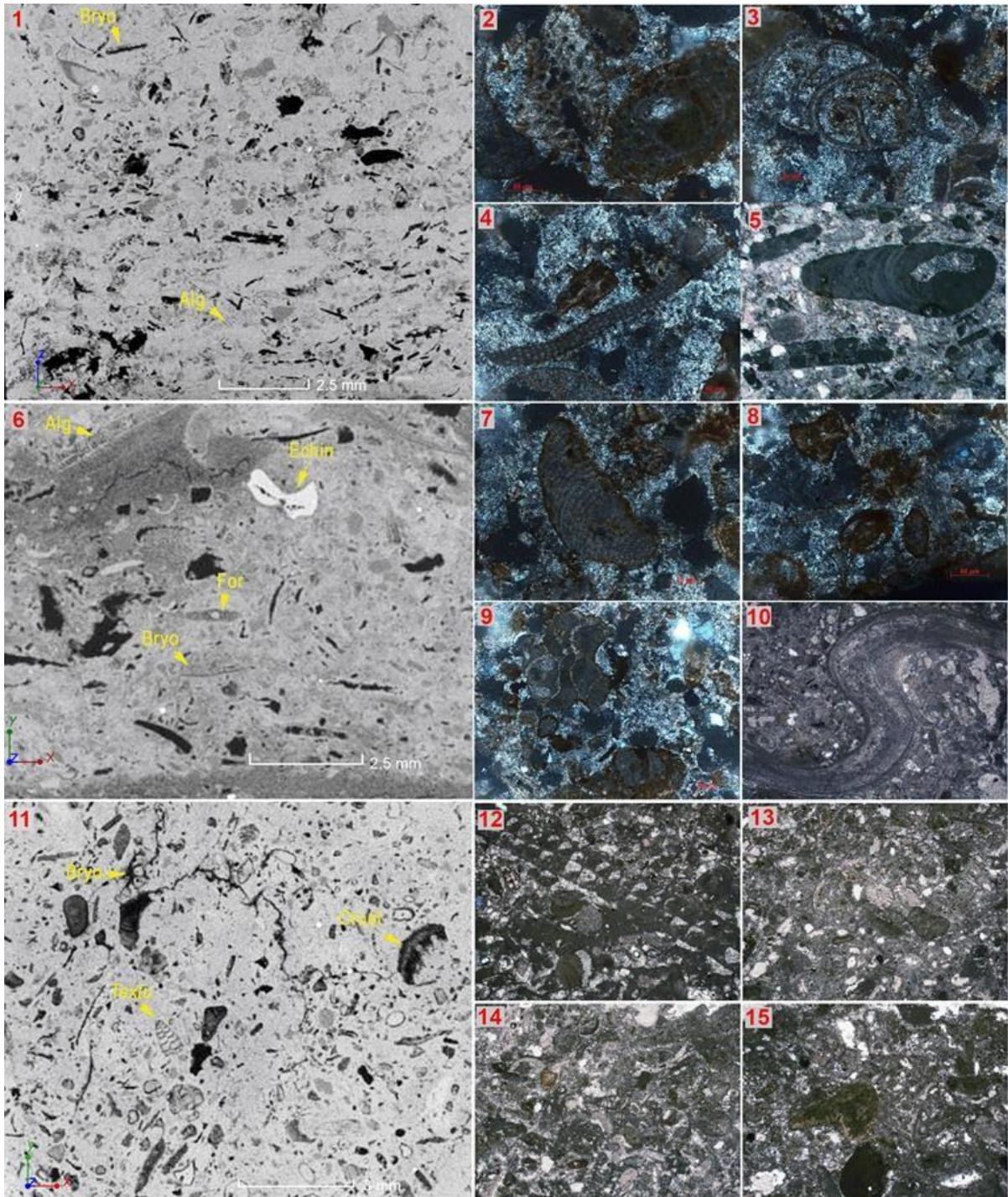


Figura 7- Cortes de microCT digital (coluna da esquerda) e fotomicrografia de seção delgada petrográfica (coluna dupla da direita) das amostras litificadas da Ilha de Fortaleza, afloramento Fazenda. 1, plugue FAZ1; 2, briozoário; 3, pequenos foraminíferos bentônicos; 4, 5, algas coralinas e briozoários; 6, plugue FAZ3; 7, algas coralinas; 8, pequenos foraminíferos bentônicos; 9, briozoário; 10, icnofóssil; 11, plugue FAZ6; 12, briozoário; 13, espinho de equinoide; 14, *Textularia*; 15, pequenos foraminíferos bentônicos e crustáceos decápodes. Abreviaturas: Alg = algas; Bryo = briozoários; Crust = crustáceo; Echin = equinodermos; For = foraminífero; Textu = *Textularia*.

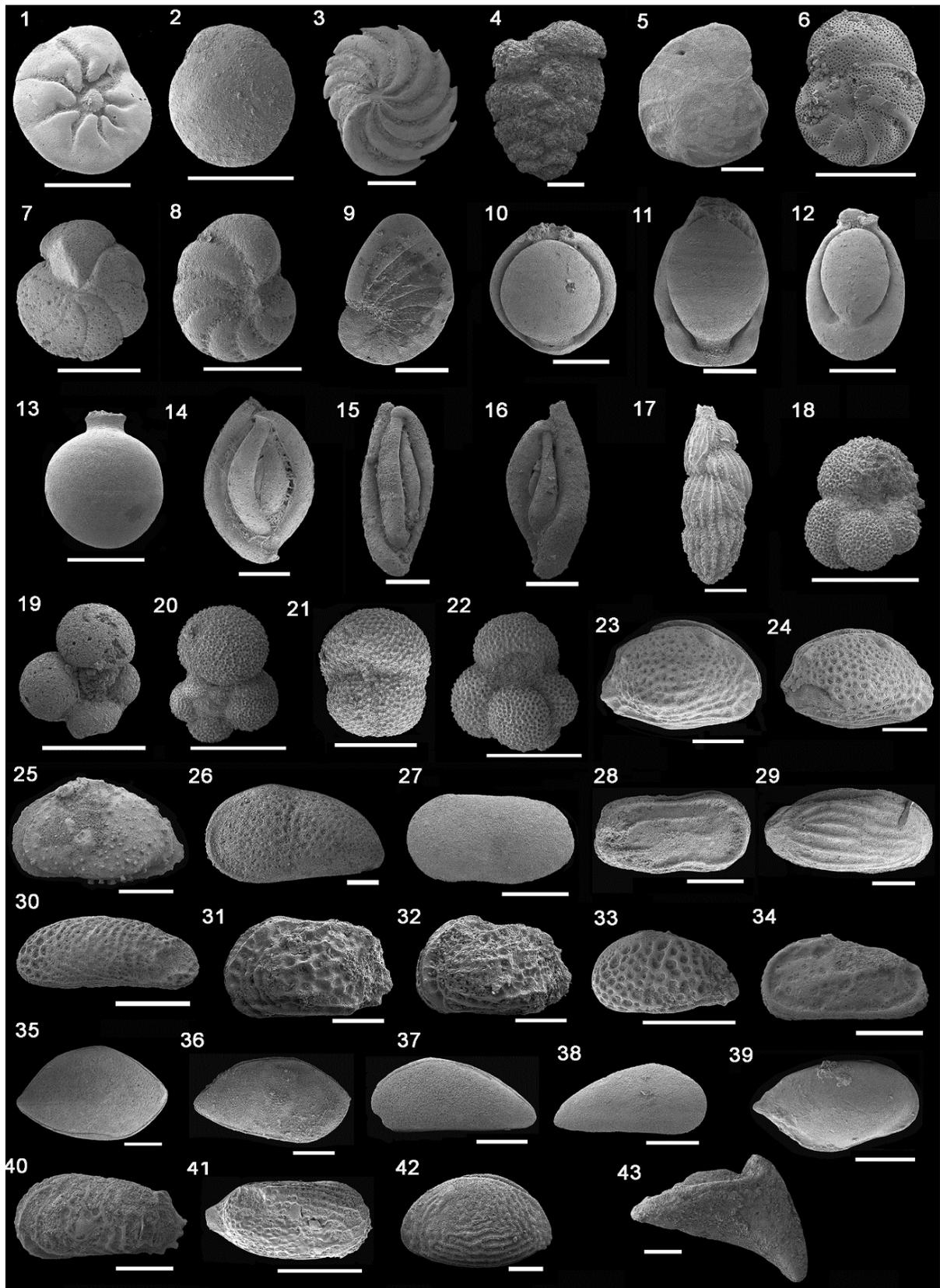


Figura 8- Diversidade micropaleontológica da Formação Pirabas (afloramentos da Ilha de Fortaleza), São João de Pirabas, Pará, Brasil. 1, *Ammonia beccarii*; 2, *Amphistegina lessonii*; 3, *Archaias angulatus*; 4, *Bolivina* sp.; 5, *Cibicides* sp.; 6, *Cibicidoides wuellerstorfi*; 7, ?*Discorbis* sp.; 8, *Elphidium poeyanum*; 9, *Nonioella pirabensis*; 10, *Pyrgo depressa*; 11, *Pyrgo* cf. *inornata*; 12, *Pyrgo subsphaerica*; 13, *Pyrgo* sp.; 14, *Quinqueloculina lamarckiana*; 15, *Quinqueloculina fusiformes*; 16, *Triloculina oblonga*; 17, *Uvigerina peregrina*; 18, *Globigerina bulloides*; 19, *Globigerina* sp.; 20, *Globigerinella* sp.; 21, *Globigerinoides subquadratus*; 22, *Globoturborotalita* sp.; 23, *Aurila amygdala*, 24, *Aurila* cf. *cicatricosa*; 25, ?*Cativella* sp.; 26, ?*Cytheridea* sp. ; 27, *Cytherella* cf. *notossinuosa*;

28, *Cytherelloidea mediocythara*; 29, *Cytheretta* cf. *punctata*; 30, *Cushmanidea* sp.; 31, *Quadracythere* sp. 1; 32, *Quadracythere* sp. 2; 33, *Gangamocytheridea* sp.; 34, *Neocaudites* sp.; 35, *Neonesidea amygdaloides*; 36, *Neonesidea* sp.; 37, *Paracypris* sp.; 38, *Propontocypris* sp.; 39, *Pellucistoma ?magniventra*; 40, *Puriana rugipunctata*; 41, *Semicytherura* sp.; 42, *Xestoleberis ?dactylotypa*; 43, *Alpheus* sp. Escala: 200 μ m.

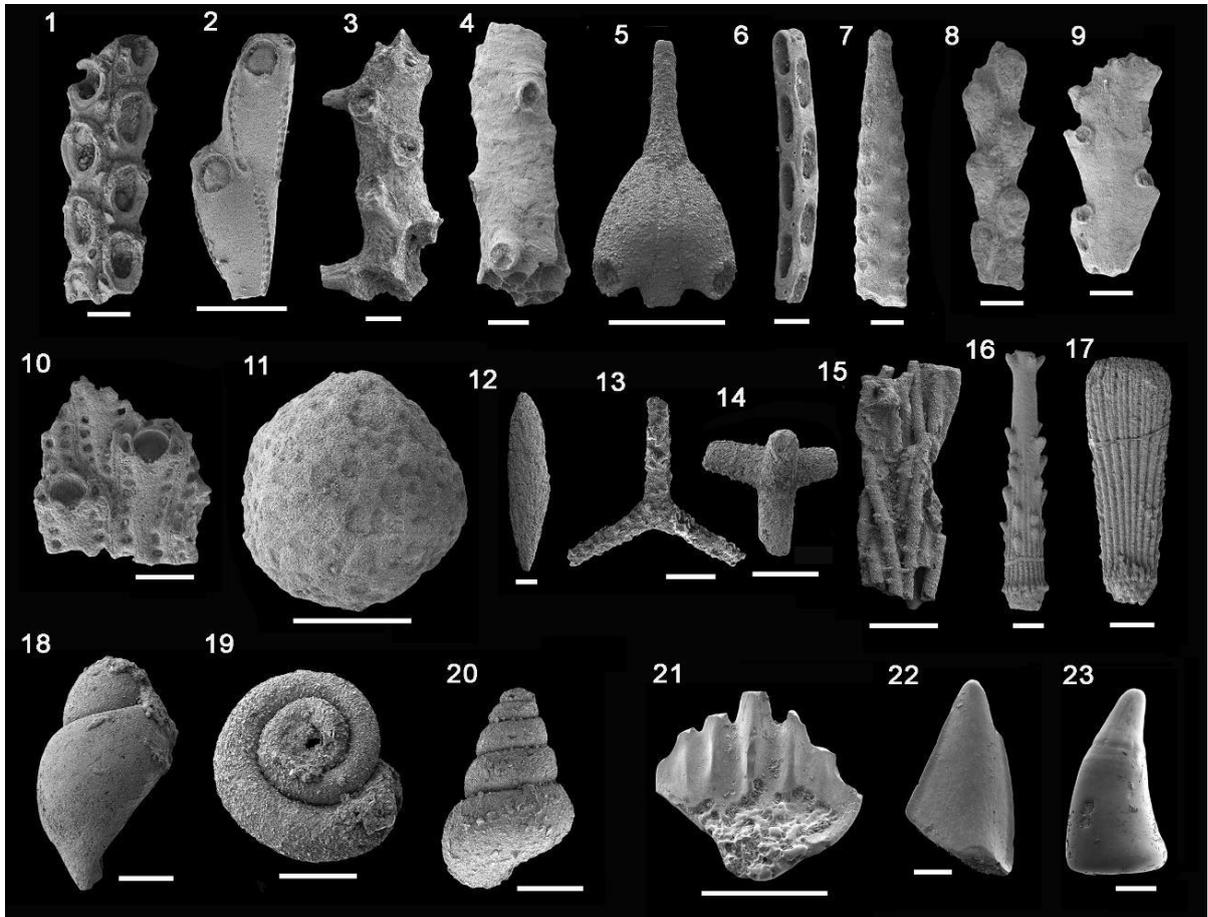


Figura 9- Diversidade de microfósseis da Formação Pirabas (Ilha de Fortaleza, Ponta do Castelo e Fortaleza outcrops). 1, *Bugula* sp; 2, *Catenicella* sp.; 3, *Pirabasoporella atalaiensis*; 4, Cyclostomatida; 5, *Pasythea* sp.; 6, *Nellia tenella*; 7, *Skylonia* sp.; 8, *Crisia* sp.; 9, *Metrarabdotos*; 10, ind.; 11, *Buguloidea*; 12-15, espículas de esponjas; 16-17, echinoids spines; 19-20, gastrópodos; 21, denticulo dérmico de tubarão; 22, dente de tubarão; 23, dente de peixe. Escala: 200 μ m.

6 DISCUSSÃO

Estudos cuidadosamente abordados de assembleias fósseis, para interpretações precisas, precisam levar em consideração o contexto da litologia, a idade e a inter-relação de micro e macro fósseis. A análise comparativa entre amostras de calha do poço 1-MAS-16-MA, da Formação Ilha de Santana, e amostras dos afloramentos da Formação Pirabas, na Ilha de Fortaleza, necessita considerar a incerteza intrínseca relacionada ao posicionamento estratigráfico das amostras de calha para realizar análises de alta precisão, utilizando o intervalo da biozona (*sensu* Oliveira *et al.* 2017). Primeiro, nas amostras de calha, os espécimes fósseis de tamanho médio a grande são pulverizados durante os processos de perfuração mecânica e transportados pelo fluido de perfuração. Segundo, os moldes fundidos e vazios (impressão) de amostras de rocha pulverizadas não podem ser registrados e, terceiro, o volume da amostra de rocha é reduzido. Amostras de calha para pesquisa paleoestratigráfica são altamente eficientes para microfósseis, como foraminíferos, ostracodes e bioclastos associados, especialmente em longas seções estratigráficas (ver Silva 2007, Oliveira *et al.* 2017, Alvarado *et al.* 2023). Por outro lado, pesquisas de micro e macropaleontologia nos afloramentos foram úteis para uma grande escala horizontal, e úteis para coleções de espécimes grandes e articulados, por exemplo, equinodermos (Bencomo *et al.* 2021), crustáceos decápodes (Lima *et al.* 2020a), peixes (Aguilera *et al.* 2013), mamíferos marinhos (Kerber & Moraes-Santos 2021), e até mesmo icnofábricas (De Araújo *et al.* 2021); entretanto, o trecho estratigráfico dos afloramentos da Formação Pirabas geralmente se restringe a alguns metros.

6.1 ASSEMBLEIAS FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO ILHA DE SANTANA NA SEÇÃO 510–660 M

A diversidade do conteúdo fóssilífero das amostras de calha do poço 1-MAS-16-MA, conforme explicado anteriormente, resulta em um viés amostral, desfavorável aos registros de macrofósseis (Biozona IS-1, Biofácies 1). No entanto, microfósseis, especialmente foraminíferos, ostracodes e bioclastos associados, são amplamente utilizados para identificar biozonas e paleoambientes.

As assembleias de foraminíferos bentônicos dominadas por *Amphistegina lessonii*, seguida por *Sphaerogypsina*, *Planorbulinella* e *Archaias angulatus*, contrastam com a escassa ocorrência de *Victoriella*, *Textularia*, *Pyrgo* e *Quinqueloculina*, e a ausência de lepidociclinídeos e miogipsinídeos (Tabela 1). Estas assembleias fósseis sugerem uma transição paleoambiental e o início da renovação de espécies pós-Mioceno, em direção à sequência

carbonática superior exposta na margem costeira (Alvarado *et al.* 2023). A espécie *Amphistegina lessonii* foi registrada no depósito carbonático marinho raso do Mioceno na Formação Marajó, Bacia do Marajó, Poço Cururú, CR-1-PA, apresentando alta abundância ($\geq 80\%$) no intervalo de 245 m a 259 m de profundidade da seção (Petri, 1954). Esta espécie foi amplamente registrada na maioria dos afloramentos e minas de calcário da Formação Pirabas (Petri 1957; Aguilera *et al.* 2020a, 2020b, 2022).

As assembleias de ostracodes da Formação Ilha de Santana são predominantemente pertencentes aos Bairdiidae (*Bairdoppilata*, *Neonesidea* e cf. *Paranesidea*). Espécies de *Bairdoppilata* (por exemplo, *B. antillea* e *B. oblonga*) foram previamente registradas na República Dominicana, na Formação Cercado do Mioceno superior, idade Tortoniano tardio (NN11a), da Formação Gurabo do Mioceno superior, idade Messiniano (NN11b) a Plioceno inferior, da Formação Mao, Plioceno inferior ao Plioceno médio, Zanciano (NN14-NN15) (ver Saunders *et al.*, 1986 para geologia detalhada da República Dominicana). Ambas as espécies foram registradas na Formação Pirabas, nos afloramentos da Ilha de Fortaleza (Nogueira *et al.* 2019), e coincidem com a distribuição em águas rasas no final do Mioceno inferior ao Mioceno médio superior, discutido aqui. A ocorrência de *Paranesidea elegantissima* e *Neonesidea* sp. registradas na mina B-17 em Capanema e no testemunho FPR 160 em Primavera (Nogueira *et al.* 2019), do Aquitaniano–Burdigaliano (N4-N7), precisa ser revisada, principalmente no que concerne à idade e à correlação com a zona nerítica externa a profundidades batiais, que caracteriza a Formação Cojimar em Cuba (Domínguez-Samalea *et al.* 2021). Adicionalmente, a Formação Panamá citada por Nogueira *et al.* (2019) não existe. Hemicytheridae é representado na Formação Ilha de Santana por *Aurila* sp. Espécies de *Aurila* (*A. laevicula* e cf. *A. cicatricose*) foram previamente registradas na Formação Pirabas por Nogueira *et al.* (2019), mostrando estreita relação com o final do Mioceno ao Pleistoceno, tipificada pela espécie *A. laevicula* das formações Springvale e Waccamaw, do Atlântico centro-oeste dos EUA (ver Swain 1968).

Os registros dos briozoários arborescentes *Pirabasoporella atalaiensis* e *Nellia* cf. *tenella* na Formação Ilha de Santana (Mioceno inferior a médio, na seção 510 – 660 m) têm relação com as espécies *P. atalaiensis* e *N. cf. tenella* do Mioceno inferior tardio ao Mioceno médio tardio da Formação Pirabas, reportadas por Zágoršek *et al.* (2014) e Ramalho *et al.* (2019).

Espécimes de moluscos raramente são preservados nas amostras de calha. No entanto, foram registados bolores de gastrópodes muito pequenos (cf. *Amauropsis* e cf. *Marginella*) e fragmentos de bivalves.

Os dácilios dos crustáceos decápodes Alpheidae (*Alpheus* sp.) da Formação Ilha de Santana foram previamente registradas nos afloramentos da Formação Pirabas (Lima et al., 2020b). Outros táxons como moluscos, equinodermos, esponjas e peixes são raros e permanecem em nomenclatura aberta.

Grandes leitos de fundo repletos de algas calcárias vermelhas (principalmente táxons crostosos, mas também táxons articulados) dominam o contexto paleoecológico na zona fótica.

Tabela 1- Diversidade de microfósseis da Formação Ilha de Santana (poço 1-MAS-16), Bacia Pará-Maranhão, Brasil.

FORMAÇÃO ILHA DE SANTANA (poço 1-MAS-16-MA)

FORAMINÍFEROS	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
<i>Amphistegina lessonii</i>		285	220	367	2070	865	500	475	875	969	165
<i>Miogypsina</i> sp.			2		1						145
<i>Nummulites</i> sp.							5		2		
<i>Lepidocyclina</i> sp.											43
<i>Sphaerogypsina</i> sp.		60	9	10	15	17	8	3	6	6	1
<i>Planorbulinella</i> sp.			3	4	8		2	14	4	2	
<i>Victoriella</i> sp.		3	2	3	1		1	2	1	14	2
<i>Archaias angulatus</i>		1				18		1			6
<i>Pyrgo</i> sp.							3	1		2	
<i>Quinqueloculina</i> sp.						1			1		
OSTRACODES	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
<i>Bairdoppilata</i> sp.	1	8						5	2	3	3
? <i>Paranesidea</i> sp.							1				
<i>Neonesidea</i> sp.								2			
<i>Aurila</i> sp.								2			
? <i>Quadracythere</i> sp.							1				
BRIOZOÁRIOS	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
Mamilloporidea		13				2					
<i>Metrarabdotos</i> sp.		5		1		2					
cf. Microporidae		1									
<i>Pirabasoporella atalaiensis</i>					12	21	1	3	2	1	
<i>Nellia</i> cf. <i>tenella</i>		3	8	2	10	1			2	1	
Briozoários ind.				2						5	4
PORÍFEROS	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
Demosponges									4	3	5
EQUINODERMOS	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
Equinoides ind.		59	6	20	2	14	8		7	28	2
MOLUSCOS	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
Naticidae e Margenillidae										3	3
CRUSTÁCEOS DECÁPODOS	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
<i>Alpheus</i> sp.		1									
Crustáceo ind.		2			2	2			3	2	
PEIXES	510 m	522 m	534 m	540 m	552 m	558 m	570 m	588 m	624 m	642 m	660 m
Peixe ind.		1		1				1			

6.2 ASSEMBLEIAS FOSSILÍFERAS DA FORMAÇÃO PIRABAS NOS AFLORAMENTOS DA ILHA DE FORTALEZA

A maioria dos foraminíferos bentônicos (Fig. 8, Tabela 2) compreende rotalídeos de águas rasas como *Amphistegina*, *Elphidium*, *Cibicides* e *Discorbis*, que habitam algas coralinas e recifes de coral (Mateu-Vicens *et al.* 2009, Prazeres *et al.* 2017). Os foraminíferos costeiros e lagunares são representados por miliolídeos e compreendem *Pyrgo*, *Quinqueloculina* e *Archaias*, que habitam principalmente a plataforma interna (Murray 2006, Sariaslan & Langer 2021, Wilson & Carvajal-Chitty 2021). Águas rasas para espécies de oceano aberto, incluindo os lagenídeos como *Lagena* e *Oolina*, e espécies neríticas a planctônicas pelágicas incluem *Globigerina*, *Globigerinella*, *Globigerinoides* e *Globoturborotalita* (Araújo, T. & Araújo, H. 2010). Os ostracodes (Fig. 8, Tabela 2) compreendem Cytherellidae, Bairdiidae, Pontocyprididae, Bythocytheridae, Xestoleberididae, Cushmanideidae, Cytheruridae, Cytheridae, Cytherettidae, Hemicytheridae e Trachyleberididae que habitam as plataformas interna e intermediária externa.

A maior parte dos briozoários são arborescentes (Fig. 9, Tabela 2). Alguns Candidae frequentemente se estabelecem em ascídias solitárias (Walters 1992), em ervas marinhas (Keough & Chernoff 1987) e no fundo consolidado, até 45 m de profundidade (Vieira *et al.*, 2012). *Catenicella* habita águas rasas, até 12 m de profundidade, e se instala em substrato calcário como colônias de corais (Flórez *et al.* 2021), algas calcárias filamentosas e folhosas (Vieira *et al.*, 2012), ou, sobre outros organismos sésseis (Ramalho *et al.* 2014), aderentes a recifes de coral (Flórez *et al.* 2021), e sobre algas filamentosas, foliosas ou calcárias (Vieira *et al.* 2012). *Nellia* e *Skylonia* se estabelecem em sedimentos endurecidos e algas marinhas, e ambientes de águas rasas de moderada a alta energia são necessários para a sua sobrevivência (Mohan *et al.* 2019). *Nellia* é encontrada em águas rasas a mais profundas (Di Martino *et al.* 2017) e alguns Cyclostomatida são característicos de baías abertas e ambientes internos (Ramalho *et al.* 2019). *Nellia*, *Catenicella*, Candidae e Cyclostomatida foram encontrados em depósitos fossilíferos caribenhos cimentados em um recife de coral, habitando os espaços crípticos e, portanto, contribuindo para o acréscimo da estrutura recifal (Flórez *et al.* 2021, 2022). A ocorrência de Jaculinidae (cf. *Pirabasoporella*) na Formação Pirabas indica condições de águas rasas e suporta altas velocidades de correntes de água (Zágoršket *et al.* 2014). O registro de *Pasythea* nas formações Pirabas e Chipolas (Di Martino *et al.* 2017) sugere paleoambiente de águas rasas. *Crisia* habita fundos consolidados até 45 m de profundidade (Vieira *et al.* 2012).

As assembleias de moluscos compreendem conchas de médio a grande porte e alta diversidade, sendo a maioria representada por moldes sólidos ou vazios na matriz rochosa. Por esta razão, quando a rocha litificada é desagregada, apenas pequenos moldes ou fragmentos de micro moluscos são preservados (Fig. 9, Tabela 1). O mesmo ocorre nos registros das seções delgadas petrográficas. As assembleias expostas nos afloramentos rochosos incluem espécies de moluscos de águas rasas que habitam ervas marinhas (Cerithiidae, Cassidae e Strombidae), manguezais (Ranellidae, Melongenidae, Arcidae e Veneridae), ambientes rochosos (Turridae, Fissurellidae, Calyptraeidae e Conidae) e fundos arenosos (Naticidae, Volutidae, Marginellidae e Olividae), enquanto outros habitam águas mais profundas (Xenophoridae, Ficidae, Architectonicidae, Cassidae e Turritellidae) (ver Maury 1925, Aguilera *et al.* 2023 para mais detalhes).

Testas e/ou espinhos isolados das espécies de equinoides *Abertella pirabensis*, *Anisopetalus oliveirai*, *Clypeaster lamegoi*, *Echinolampas paraensis*, *Phyllacanthus priscus* e *Rhyncholampas oliveirai*, bem como, ossículos de crinoides de *Sievertsella cf. polonica*, foram frequentemente registrados em fácies de águas rasas dos afloramentos da Ilha de Fortaleza (ver Bencomo *et al.* 2021, Aguilera *et al.* 2023 para mais detalhes). Entretanto, o conteúdo dos equinodermos em rochas desagregadas e em lâminas delgadas consiste em sua maioria de ossículos e espinhos indeterminados, exceto *Prionocidaris* (Figs. 6, 9, Tabela 1).

Os corais dos afloramentos da Ilha de Fortaleza são representados pelas espécies ahermatípticas solitárias de águas rasas *Flabellum* sp. e *Discotrochus* sp., frequentemente dispersos na matriz rochosa. Flabellidae são solitários com uma distribuição mundial que varia de águas tropicais rasas quentes a águas profundas mais frias, incluindo a ocorrência na Antártica (Cairns 2017). Contudo, a ocorrência dos fósseis *Flabellum* e *Discotrochus* na Formação Pirabas foi pertinentemente atribuída a águas tropicais rasas (Aguilera *et al.* 2020a, b). Estes Flabellidae não são recuperados em rochas litificadas desagregadas e não são observados em lâminas petrográficas. Porém, são comumente observados em rochas expostas nos afloramentos.

Esta diversidade de espécies fósseis e o contexto paleoambiental marcam a principal renovação da fauna tropical registrada do Mioceno inferior a médio na costa equatorial do Brasil, e posteriormente, durante o Mioceno superior, o colapso dos produtores de carbonato e a extinção/diversificação global das espécies (Steinhorsdottir *et al.* 2021).

A fauna fóssil de crustáceos decápodes da Formação Pirabas compreende predominantemente espécies adaptadas a ambientes de águas rasas, exibindo uma clara segregação em três grupos ecológicos distintos:

- i. Espécies de submarés: Estas espécies habitam fundos não consolidados lamacentos, arenosos e rochosos. Este grupo apresenta grande destaque e inclui uma gama diversificada de famílias como: Aethridae, Calappidae, Leucosiidae, Parthenopidae, Panopeidae e Portunidae (Beurlen 1958, Brito 1971, Lima *et al.* 2023). Muitas de suas espécies estão associadas a fundos moles, habitando sob rochas, escombros de corais ou enterradas em sedimentos (Melo 1996). Os Portunidae, incluindo os caranguejos nadadores, são frequentemente documentados em locais como a mina de calcário B17 (Aguilera *et al.* 2014) e o afloramento Colônia Pedro Teixeira (Beurlen 1958), ambos em Capanema. Crustáceos abrangem diversas espécies, como *Callinectes paraensis* Beurlen 1958, *C. pirabensis* Brito 1971, *C. ferreirai* Brito 1971, e *Euphyllax septendentatus* Beurlen 1958. Este grupo também encontra representação nos afloramentos da Ilha de Fortaleza (Beurlen 1958, Távora *et al.* 2010).
- ii. Espécies semiterrestres: Este grupo é representado por uma única espécie de Grapsoidea, *Uca maracoani* (Latreille 1802). As contrapartes existentes desta superfamília são comumente associadas a ecossistemas de manguezal. Este registro está alinhado com a interpretação paleoambiental atribuída para o afloramento Baunilha Grande (grupo β sensu Aguilera *et al.* 2022), única localidade onde a espécie foi registrada (Brito 1972, Távora *et al.* 2010, Lima *et al.* 2020a).
- iii. Espécies construtoras de tocas: O terceiro grupo ecológico compreende as espécies construtoras de tocas, atribuídas principalmente aos Alpheidae, que incluem camarões-pescadores. Estas espécies de Alpheidae habitam águas rasas, normalmente em fundos macios, e podem ser encontradas sob rochas, escombros de coral, em tocas auto cavadas ou associadas às tocas de hospedeiros não identificados em planícies de maré (Lima *et al.* 2020b). Vários fragmentos de garras pertencentes a este grupo foram documentados nos afloramentos de Atalaia e Aricuru (Lima *et al.* 2020b), e também foram recuperados para os afloramentos da Ilha de Fortaleza (Fig. 5).

A diversidade ecológica de crustáceos decápodes dentro da Formação Pirabas fornece informações valiosas sobre o paleoambiente da região, durante o período de deposição desta formação. Estas descobertas sublinham a importância dos habitats de águas rasas, incluindo ecossistemas de fundo mole, manguezais e nichos ecológicos associados, nos afloramentos da Ilha de Fortaleza.

Tabela 2- Diversidade de microfósseis da Formação Pirabas (afloramentos Ponta do Castelo e Fazenda na localidade-tipo Ilha de Fortaleza), estado do Pará, Brasil.

FORMAÇÃO PIRABAS (ILHA DE FORTALEZA)

FORAMINÍFEROS	Ponta do Castelo						Fazenda						
	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
<i>Ammonia beccarii</i>	1			71	1			83				2	
<i>Amphistegina lessonii</i>	2			327	16	6		8	10		17	16	10
<i>Archaias angulatus</i>	5	5	1		15	1						4	7
<i>Bolivina</i> sp.				3				1					
<i>Cibicides</i> sp.				34								4	6
<i>Cibicides pirabensis</i>				46		19							
<i>Cibicoides wuellerstorfi</i>				2							1		
<i>Discorbis</i> sp.				18			11						
<i>Discorbis paraensis</i>						11		18					
<i>Elphidium poeyanum</i>				12				3					
<i>Elphidium sagrai</i>	1			4									
<i>Lagena</i> cf. <i>perlucida</i>	6			1				8			5		
<i>Nonioella pirabensis</i>					1								
<i>Oolina</i> sp.				1									
<i>Pyrgo depressa</i>	58	28	38	44	7	14	2	46	18	22	3		7
<i>Pyrgo</i> cf. <i>inornata</i>		1											
<i>Pyrgo subsphaerica</i>	31	15	20	14	3	13	1	17	9	4	4		
<i>Pyrgo</i> sp.	17			4		3		4	2				
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	6	13	17			2	5	7	6	5			
<i>Quinqueloculina fusiformis</i>	1	3	9	4				17					
<i>Triloculina oblonga</i>	4		3	1		3		1					
<i>Uvigerina peregrina</i>								2					
<i>Globigerina bulloides</i>	2			1									
<i>Globigerina</i> sp.	2			3				1					
<i>Globigerinella</i> sp.	1												
<i>Globigerinoides subquadratus</i>	5												
<i>Globoturborotalita</i> sp.	1												
OSTRACODES	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
<i>Aurila amygdala</i>	1		6	4					1			2	
<i>Aurila</i> cf. <i>cicatricosa</i>	1												
<i>Aurila</i> sp.					1								
<i>Bairdoppilata pintoii</i>					1								
<i>Bairdoppilata oblongata</i>					1								
? <i>Cativella</i> sp.		66	14			28	1						
? <i>Cytheridea</i> sp.		1	6	5	1			1	1				2
<i>Cytherella</i> cf. <i>notosinuosa</i>				3	2			1	4			5	2
<i>Cytherelloidea mediocythara</i>	2										1		
<i>Cytheretta</i> cf. <i>punctata</i>				1				1	1			3	
<i>Cushmanidea</i> sp.		4	4										
<i>Quadracythere</i> sp. 1			4	5	3				3	1			
<i>Quadracythere</i> sp. 2			4	1									
<i>Gangamocytheridea</i> sp.				3									
<i>Neonesidea amygdaloides</i>		4	8	10		19	5	1	5			2	7
<i>Neonesidea</i> sp.		1	7	4	1	5		10	4			4	6
<i>Paracytheridea</i> sp.					2								
<i>Paracypris</i> sp.		2						2	5			2	
<i>Propontocypris</i> sp.		2	2			7		4		1			1
<i>Pellucistoma</i> ? <i>magniventra</i>									5				
<i>Puriana rugipunctata</i>				1									
<i>Semicytherura</i> sp.	1	1			1			2					
<i>Xestoleberis</i> ? <i>dactylotopa</i>		13		13	4	22		5					
BRIZOÁRIOS	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
<i>Bugula</i> sp.	134			77		9			9			1	1
<i>Catenicella</i> sp.	14					3				3	4		
<i>Pirabasoporella atalaiensis</i>	22			22									
<i>Cyclotomatida</i>	2												
<i>Pasythea</i> sp.	12			2		18				2			
<i>Nellia tenella</i>	411	3		426	17	29			71	4	2		
<i>Skylonia</i> sp.				31					4				
? <i>Reteporidae</i> sp.				2									
<i>Crisia</i> sp.	3			2	2				1			2	
<i>Metrarabdotos</i> sp.	5												
PORÍFEROS	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
Demospongiae (megascleras)	3		3	568		9	21		37	4	4	3	13
EQUINODERMOS	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
Echinodermos ind.	2			69	1	10			7	2	1		5
<i>Prionocidarís</i> sp.				1									
MOLUSCOS	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
Moluscos ind.	13		38	158		12		1					6
CRUSTÁCEOS DECÁPODOS	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
<i>Alpheus</i> sp.	1												
Crustáceo ind.	4												
PEIXES	PTA1	PTA2.1	PTA2.2	PTA3.1	PTA3.2	PTA4	PTA6	FA2	FA3.1	FA3.2	FA3.3	FA5	FA6
Peixes ind.	1	6	2	4	4	1		1	2			2	9

7 CONCLUSÕES

Os microfósseis registrados nas amostras da seção de 510 a 660 m da Formação Ilha de Santana (Biozona IS-1, Biofácies 1) são caracterizados principalmente pelos registros dos foraminíferos *Amphistegina lessonii*, *Archaias* cf. *angulatus*, *Pyrgo* sp. e *Quinqueloculina* sp., os ostracodes *Bairdoppilata* sp., *?Paranesidea* sp., *Neonesidea* sp. e *Aurila* sp., os briozoários *Pirabasoporella atalaiensis*, *Nellia* cf. *tenella* e *Skylonia* sp., e o crustáceo decápode *Alpheus* sp. Essas assembleias estão intimamente relacionadas aos microfósseis da Formação Pirabas depositada em águas rasas na zona fótica, o que torna estas duas formações parcialmente coevas.

O topo da seção da Formação Ilha de Santana na Bacia Pará-Maranhão corresponde ao mesmo nível atribuído à Formação Pirabas na Bacia de Barreirinhas, por isso propomos a inclusão da Formação Pirabas na Bacia Pará-Maranhão, e o estabelecimento dos limites de idade da Formação Ilha de Santana entre o Maastrichtiano e o Aquitaniano.

Embora não exista uma seção estratigráfica contínua, pode-se dizer que os afloramentos costeiros e a mina de Capanema da Formação Pirabas, estado do Pará, e o topo da seção 1-MAS-16-MA, pertencem inequivocamente à Formação Pirabas no intervalo de idade do Mioceno inferior (Aquitaniano) ao Mioceno médio (Serravaliano).

Perfis mais profundos, que atingem o embasamento da planície costeira do estado do Pará, são necessários para compreender as seções de subsuperfície das sequências do Oligoceno e Mioceno nas bacias do Pará-Maranhão e Barreirinhas.

REFERÊNCIAS

- Abreu W.S., Regali M.P., Shimabukuro S. 1986. O Terciário da plataforma continental do Maranhão e Pará, Brasil: bioestratigrafia e evolução paleoambiental. *In: 34º, SBG, Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia, 1:145–156.*
- Aguilera Socorro O. & Páes E.T. 2012. The Pirabas Formation (Early Miocene from Brazil) and the Tropical Western Central Atlantic Subprovince. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais, 7(1): 29–45.*
- Aguilera O., Guimarães J.T.F., Moraes-Santos H. 2014. Erratum to: Neogene easter Amazon carbonate platform and the paleoenvironmental interpretation. *Swiss Journal of Palaeontology, 133: 99-118.* <https://doi.org/10.1007/s13358-014-0066-6>.
- Aguilera O., Luz Z., Carrillo-Briceño J., Kocsis L., Vennemann T.W., Toledo P.M., Nogueira A., Amorin K.B., Moraes-Santos H., Polck M.R., Ruivo M.L., Linhares A.P., Monteiro-Neto C. 2017. Neogene sharks and rays from the Brazilian ‘Blue Amazon’. *PlosOne, 12(8): e0182740.* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182740>.
- Aguilera O.A., Moraes-Santos H., Costa S., Ohe F., Jaramillo C., Nogueira A. 2013. Ariid sea catfishes from the coeval Pirabas (Northeastern Brazil), Cantaure, Castillo (Northwestern Venezuela), and Castilletes (North Colombia) formations (early Miocene), with description of three new species. *Swiss Journal of Paleontology.* <http://dx.doi.org/10.1007/s13358-013-0052-4>.
- Aguilera O., Araújo O.M.O de, Hendy A., Nogueira A.A.E., Nogueira A.C.R., Maurity C.W., Kutterd V.T., Martins M.V.A., Coletti G, Borba B., Silva-Caminha S.A.F., Jaramillo C., Bencomo K., Lopes R.T. 2020a. Palaeontological framework from Pirabas Formation (North Brazil) used as potential model for equatorial carbonate platform. *Marine Micropaleontology, 154: 1–23.* <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.101813>.
- Aguilera O., Bencomo K., Araújo O.M.O.de, Dias B.B., Coletti G., Lima D., Silane A.F., Polk M., Alves-Martin M.V., Jaramillo C., Kutter V.T., Lopes R.T. 2020b. Miocene heterozoan carbonate systems from the western Atlantic equatorial margin in South America: The Pirabas Formation. *Sedimentary Geology, 407: 1–28.* <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105739>.
- Aguilera, O., Martins, M.V.M., Linhares, A.P., Kütter, V.T., Coletti, G. 2022. Palaeoenvironment of the Miocene Pirabas Formation mixed carbonate–siliciclastic deposits, Northern Brazil: Insights from skeletal assemblages. *Marine and Petroleum Geology, 145: e105588.* <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105855>.
- Aguilera O., Araújo O.M.O.de, Lopes R.T., Cohen M., Sierra D.A., Guimarães B.T., Linhares A.P., Rodriguez F., Moreira M., Díaz R., Gama Filho H.S., Anjos M.J.dos, Lima D., Silva J.S., Giraud-López M.J., Kütter V.T. 2023. Miocene tropical storms: Carbonate framework approaches and geochemistry proxies in a reservoir model. *Marine and Petroleum Geology, 154: e106333.* <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106333>.
- Alvarado D.S., Aguilera O., Araújo O.M.O.de, Lopes R.T., Geraldés M., Martins M.V.A., Coletti G.G., Guimarães B.T., Linhares A.P., Kütter V.T. 2023. Cenozoic biostratigraphy of larger foraminifera from Equatorial carbonate platform of Northwestern Brazil. *Marine and Petroleum Geology, 156: e106458.* <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106458>.

Araújo O.M.O.de, Aguilera O., Coletti G., Valencia F.L., Buatois L.A., Lopes R. 2021. X- ray micro-computed tomography of burrow-related porosity and permeability in shallow- marine equatorial carbonates: A case study from the Miocene Pirabas Formation, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, **127**: e104966. <https://doi.org/10.1016/j.merpetgeo.2021.10496>.

Araújo T.M.F. & Araújo H.A.B. 2010. Assembleias de foraminíferos dos sedimentos superficiais da Plataforma continental e talude do norte da Bahia. *Revista de Geologia*, **23**(1): 115–134.

Banha T.N.S., Osmar L.J., Nils E.A., Pinheiro H.T., Magris R.A.,Cordeiro R.T.S., Mahiques M.M., Mies M., Giglio V.J., Omachi C.Y., Siegle E., Nogueira L.C., Thompson C.C., Thompson F.L., Nora V., Horta P.A., Rezende C.E., Sumida P.Y.G., Ferreira C.E. L., Floeter S.R., Francini-Filho R.B. 2022. The Great Amazon Reef System: A fact. *Frontiers in Marine Science* **9**: e1088956. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1088956>.

Bencomo K., Mihaljević M., Araújo O.M.de, Lopes R.T., Lima D., Aguilera O. 2021. Dominance of Miocene echinoderms in the equatorial Neogene marine platform of Brazil and their insights into the paleoenvironment. *Journal of South American Earth Sciences*, **112**(1): e103595. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103595>.

Beurlen K. 1958. Contribuição à paleontologia do estado do Pará, Crustáceos decápodes da Formação Pirabas I. (Arthropoda, Crustacea). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, nova série, Geologia, **5**: 1–48.

BouDagher-Fadel M.K., Price G.D., Koutsoukos E.A.M. 2010. Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Oligocene-Miocene carbonate succession in Campos Basin, southeastern Brazil. *Stratigraphy*, **7**(4): 283–299.

Brito I.M. 1971. Contribuição ao Conhecimento dos Crustáceos Decápodos da Formação Pirabas. I – Brachyura Brachyrhyncha. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**: 489–498.

Brito I.M. 1972. Contribuição ao Conhecimento dos Crustáceos Decápodos da Formação Pirabas. II – O gênero *Uca* (Brachyura-Ocypodidae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **44**(1): 95–98.

Cairns S.D. 2017. New azooxanthellate genus of Scleractinia (Flabellidae) from the Australian Cenozoic. *Journal of Paleontology*, **91**(3): 407–416. <https://doi.org/10.1017/jpa.2016.83>.

Cruz A.M., Reis A.T., Suc J.P., Silva C.G., Praeg D., Granjeon D., Rabineau M., Popescu S.M., Gorini C. 2019. Neogene evolution and demise of the Amapá carbonate platform, Amazon continental margin, Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, **105**: 185–203. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.04.009>.

Di Martino E., Taylor P.D., Portell R.W. 2017. Bryozoans from the lower Miocene Chipola Formation Calhoun County, Florida, USA. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History*, **53**(4): 97–200.

Domínguez-Samalea Y., Pérez-Estrada L., Rojas-Consuegra R. 2021. Ambiente de sedimentación de la Formación Cojimar (provincia La Habana) basado em foraminíferos bentônicos. *Minería y Geología*, **37**(4): 376–396.

Figueiredo J., Zalán P.V., Soares E.F. 2007. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, **15**: 299–309.

- Flórez P., Di Martino E., Ramalho L.V. 2021. Early Miocene coral reef- associated bryozoans from Colombia. Part I: Cyclostomata, “Anasca” and Cribrilinoidea Cheilostomata. *Journal of Paleontology*, **95**: 694–719.
- Flórez P., Di Martino E., Ramalho L.V. 2022. Early Miocene coral reef-associated bryozoans from Colombia. Part II: “Asophora” Cheilostomatida. *Journal of Paleontology*, **96**(2): 274–303.
- Frigola A., Prange M., Schulz M. 2018. Boundary conditions for the Middle Miocene Climate Transition (MMCT v1.0). *Geoscientific Model Development*, **11**: 1607–1626. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1607-2018>.
- Gomes B.T., Aguilera O., Silva-Caminha S.A.F.da, D’Apolito C., Cárdenas D., Hocking E.P., Lemes K.K.B. 2023. Biostratigraphy and paleoenvironments of the Pirabas Formation (Neogene, Pará state-Brazil). *Marine Micropaleontology*, **180**: e102218.
- James N.P. 1997. The cool-water carbonate depositional realm. In: James, N.P., Clarke, J.A.D. (eds.), Cool-water Carbonates. *SEPM Special Publication*, **56**: 1–20.
- Keough M.J., Chernoff H. 1987. Dispersal and population variation in the Bryozoan *Bugula neritina*. *Ecology*, **68**(1): 199–210.
- Kerber L., Moraes–Santos H. 2021. Endocranial morphology of a Middle Miocene South American Dugongid and the neurosensorial evolution of Sirenians. *Journal of Mammalian Evolution*, **28**: 661–678. <https://doi.org/10.1007/s10914-021-09555-8>.
- Latreille P.A. 1802. Histoire naturelle, générale et particulière des crustacés et des insectes. famille naturelles des genres. Paris, F. Dufart. v. 3, xii + 467p.; v. 4, 387p., pls. 16–37.
- Lima D., Tavares M., Lopes R.T., Araújo O.M.O.de, Aguilera O. 2020a. *Uca maracoani* (Crustacea, Decapoda, Ocypodidae) from a Miocene paleomangrove in Brazil: A case of evolutionary stasis among tropical American fiddler crabs. *Journal of South American Earth Sciences*, **99**: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102517>.
- Lima D., Anker A., Hyžný M., Kroh A., Aguilera O. 2020b. First evidence of fossil snapping shrimps (Alpheidae) in the Neotropical region, with a checklist of the fossil caridean shrimps from the Cenozoic. *Journal of South American Earth Sciences*, **103**: e102795. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102795>.
- Lima D., Aguilera O., Tavares M. 2021. The Inachoididae spider crabs (Crustacean, Brachyura) from the Neogene of the tropical Americas. *Journal of Paleontology*, **96**(2): 334–354. <https://doi.org/10.1017/jpa.2021.91>.
- Lima D., Silva R.C.da, Aguilera O., Pinheiro A.P., Santana W. 2023. Brazilian Miocene crabs I. Taxonomic review of *Cyclocancer tuberculatus* Beurlen, 1958 and *Hepatella amazonica* Beurlen, 1958 (Pancrustacea, Decapoda, Brachyura). *Papéis Avulsos de Zoologia*, **63**: e202363012. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2023.63.012>.
- Mahiques M.M., Siegle E., Francini-Filho R.B., Thompson F.L., Rezende C.E.de, Gomes J.D., Asp N.E. 2019. Insights on the evolution of the living great amazon reef system, equatorial west Atlantic. *Scientific Report*, **9**(1): e13699.

- Mateu-Vicens G., Hallock P., Brandano M. 2009. Test-shape variability of *Amphistegina* D'Orbigny, 1826 as a paleobathymetric proxy: Application to two Miocene examples. *Society for Sedimentary Geology, SEPM Special Publication* **93**: 67–82.
- Maury C.J. 1925. *Fósseis terciários do Brasil com descrição de novas formas cretáceas*. [S.l.], Serviço Geológico do Brasil, p. 1–665. (Monografia 4).
- Melo G.A.S. 1996. *Manual de identificação dos crustacea decapoda do litoral brasileiro*. São Paulo, Plêiade/FAPESP. 640 p.
- Methner K., Campani M., Jens F., Löffler N., Kempf O., Mulch A. 2020. Middle Miocene long-term continental temperature change in and out of pace with marine climate records. *Scientific Reports*, **10**: e7989. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64743-5>.
- Michel J., Borgomano J., Reijmer J.J. 2018. Heterozoan carbonates: When, where and why? A synthesis on parameters controlling carbonate production and occurrences. *Earth-Science Reviews*, **182**: 50–67.
- Miller, K.G., Browning, J.V., Schmelz, W.J., Kopp, R.E., Mountain, G.S., Wright, J.D., 2020. Cenozoic sea-level and cryospheric evolution from deep-sea geochemical and continental margin records. *Science Advances*, **6**(20): eaaz1346. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz1346>.
- Mohan A.S., Ramesh M.B. 2019. Bryozoan fauna from the Burdigalian of Quilon Beds of Padappakara, Kerala, India. *Journal of the Geological Society of India*, **93**(5): 583–593. <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1220-y>.
- Murray J.W. 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535529>.
- Nogueira A.A.E., Ramos M.I.F., Hunt G. 2019. Taxonomy of Ostracods from the Pirabas Formation (Upper Oligocene to Lower Miocene), Eastern Amazonia (Pará State, Brazil). *Zootaxa*, **4573**(1): 001–111. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4573.1.1>.
- Nogueira A.C.R., Amorim K.B., Góes A.M. Truckenbrodt W., Petri S., Nogueira A.A.E., Bandeira J., Soares J.L., Baía L.B., Imbiriba Jr. M., Bezerra I.S., Ribas C.C., Cracraft J. 2021. Upper Oligocene-Miocene deposits of Eastern Amazonia: Implications for the collapse of Neogene carbonate platforms along the coast of northern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **563**: e110178. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.110178>.
- Oliveira G.C.C. Andrade, Oliveira R.S.de, Guerra R.do Monte, Lima Filho Mário Ferreira de. 2017. Paleocene calcareous nannofossils biostratigraphy from the Sergipe Sub-basin, northeastern Brazil: Implications for this depositional environment. *Journal of South American Earth Sciences*, **82**: 1–15. <https://10.1016/j.jsames.2017.10.020>.
- Pamplona H.R.P. 1969. Litoestratigrafia da Bacia Cretácea de Barreirinhas. Rio de Janeiro. *Boletim Técnico PETROBRAS*, **12**(3): 261–290.
- Pellegrini B.S., Ribeiro H.J.P.S. 2018. Exploratory plays of Pará-Maranhão and Barreirinhas basins in deep and ultra-deep waters, Brazilian Equatorial Margin. *Brazilian Journal of Geology*, **48**(3): 485–502. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201820180146>.
- Petri S. 1954. Foraminíferos fósseis da Bacia do Marajó. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo* (Geologia), **11**: 4–144.
- Petri S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo* (Geologia), **216**: 1–172.

- Prazeres M., Roberts T.E., Pandolfi J.M. 2017. Variation in sensitivity of large benthic Foraminifera to the combined effects of ocean warming and local impacts. *Scientific Reports*, **7**: e45227. <https://doi.org/10.1038/srep45227>.
- Ramalho L.V., Taylor P.D., Muricy, G. 2014. New records of *Catenicella* de Blainville, 1830 (Catenicellidae: Cheilostomata: Ascophora) in Rio de Janeiro State, Brazil. *Check List*, **10**(1): 170–174. <https://doi.org/10.15560/10.1.170>.
- Ramalho L.V., Serrano F., Rueda J.L., Távora V.A., Zágorsk K. 2019. New update on the bryozoan assemblage of the Miocene Pirabas Formation, Brazil. *Australasian Palaeontological Memoirs*, **52**: 109–114.
- Rossetti D.F., Bezerra F.H.R., Dominguez J.M.L. 2013. Late Oligocene–Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth Science Review*, **123**: 87–112. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.005>.
- Sariaslan N. & Langer M.R. 2021. Atypical, high-diversity assemblages of foraminifera in a mangrove estuary in northern Brazil, *Biogeosciences*, **18**: 4073–4090. <https://doi.org/10.5194/bg-18-4073-2021>.
- Saunders J.B., Jung P., Biju-Duval B. 1986. Neogene paleontology in the northern Dominican Republic. 1. Field surveys, lithology, environment, and age. *Bulletin of American Paleontology*, **89**(323): 1–79.
- Silva C.P.da, 2007. Estudo sobre foraminíferos e radiolários do cretáceo, Bacia Pará-Maranhão, margem equatorial brasileira. M.Sc. Instituto de Geociências, UFRS.
- Soares E.F., Zalán P.V., Figueiredo J.J.P., Trosdorf-Jr I. 2007. Bacia do Pará-Maranhão. *Boletim Geociências PETROBRAS*, **15**: 321–330.
- Steinthorsdottir M., Coxall H.K., de Boer A.M., Huber M., Barbolini N., Bradshaw C.D., Burls N.J., Feakins S.J., Gasson E., Henderiks J., Holbourn A.E., Kiel S., Kohn M.J., Knorr G., Kürschner W.M., Lear C.H., Liebrand D., Lunt D.J., Mörs T., Pearson P.N., Poun M.J., Stoll H., Strömberg C.A.E. 2021. The Miocene: The future of the past. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, **36**: e2020PA004037. <https://doi.org/10.1029/2020PA004037>.
- Swain F.M., 1968. Ostracoda from the Upper Tertiary Waccamaw Formation of North Carolina and South Carolina. *United States Geological Survey Professional Paper*, **573D**: 1–37. <https://doi.org/10.3133/pp573D>.
- Távora V.A., Santos A.A.R., Araújo R.N. 2010. Fossiliferous localities of the Pirabas Formation (Lower Miocene). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais* **5**(2): 207–224.
- Testa V. & Bosence D.W. 1999. Physical and biological controls on carbonate and siliciclastic bedforms on the north-east Brazilian. *Sedimentology*, **46**(2): 279–301.
- Trosdorf Jr.I., Zalán P.V., Figueiredo J.J.P., Soares E.F. 2007. Bacia de Barreirinhas. *Boletim de Geociências PETROBRAS*, **15**: 331–339.
- Vale N.F., Braga J.C., Moura, R.L.de., Salgado L.T., Moraes F.C.de., Karez C.S., et al., 2022. Distribution, morphology and composition of mesophotic ‘reefs’ on the Amazon continental margin. *Marine Geology*, **447**: 106779. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106779>
- Vieira L.M., Farrapeira C.M.R., Amaral F.D., Lir S.M.A., 2012. Bryozoan biodiversity in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Cahiers de Biologie Marine*, **53**: 159–16.

Walters L.J. 1992. Post-settlement success of the arborescent bryozoan *Bugula neritina* (L.): the importance of structural complexity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **164**(1): 55–71. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90136-X](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90136-X).

Wilson B. & Carvajal-Chitty H. 2021. Benthic foraminiferal biogeography in the southeast Caribbean Sea. *Micropaleontology*, **67**(1): 11–17. <https://doi.org/10.47894/mpal.67.1.02>.

Zágoršek K., Ramalho L.V., Berning B., Távora V.A. 2014. A new genus of the Family Jaculinidae (Cheilostomata, Bryozoa) from the Miocene of the tropical western Atlantic. *Zootaxa* **3838** (1): 98–112. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3838.1.5>.

Zalán P.V. 2015. Re-interpretation of an Ultra-deep Seismic Section in the Pará-Maranhão basin-implications for the petroleum potential of the ultra-deep waters. *In: Offshore Technical Conference, Brazil*. OTC-26134-MS.

ANEXO A - SUBMISSÃO DE MANUSCRITO PARA A REVISTA JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES

Manuscript Number:	
Article Type:	Research Paper
Section/Category:	Paleontology, paleoecology, paleoclimatology and Quaternary geology
Keywords:	carbonate; platform; petrography; micropaleontology; boundary Oligocene-Miocene
Corresponding Author:	Orangel A. Aguilera Federal Fluminense University Niterói, Rio de Janeiro BRAZIL
First Author:	Beatriz Teixeira Guimarães, MSc (candidate)
Order of Authors:	Beatriz Teixeira Guimarães, MSc (candidate) Orangel A. Aguilera, PhD Ana Paula LINHARES, PhD OLGA OLIVEIRA DE ARAÚJO, PhD Isadora Mello, PhD (candidate) Hilton Tulio Costi, PhD Dayana Alvarado Sierra, MSc (candidate) VINICIUS KUTTER Daniel Lima, PhD Geize Carolinne Correia Andrade Oliveira Ricardo Tadeu LOPES, PhD
Abstract:	Sedimentary carbonate outcrops of the Pirabas Formation at the Bragantina platform in North Brazil represent the exposed portion of the entire carbonate succession in the marine equatorial platform from the subsurface Ilha de Santana Formation (Cretaceous/Maastrichtian-Miocene/Aquitania) in the Pará-Maranhão Basin and from the Pirabas Formation (Miocene/Aquitania-Serravallian) in the Barreirinhas Basin, both from the Humberto de Campos Group. The transgressive deposits, flooding, and advance of the carbonate platform were investigated through the study of outcrops of the Pirabas Formation (type locality in the Ilha de Fortaleza, Pará state) and the analogous carbonate from the upper section of the Ilha de Santana Formation from the well-log 1-MAS-16-MA (510 to 660 meters below sea floor). The stratigraphic analyses were based on petrography, microCT, microfossil assemblages (foraminifera, ostracods, and bryozoans) and index species (Amphistegina, Archaias, Pyrgo, Quinqueloculina, Pirabasoporella, Nellaia, Skylonia, and Alpheus), and biofacies approach (BF-3/BF-1). The bordering between the Ilha de Santana Formation (Aquitania/Burdigalian at 510–660 mbsf section of 1-MAS-16-MA) and the Pirabas Formation (Burdigalian/Serravallian at the Ilha de Fortaleza outcrops) suggests that shallow-water sedimentary facies are similar to those deposited in the marginal basins and marks the start of siliciclastic supplies to the inner platform and the reduction of coralline algae carbonate factories.
Suggested Reviewers:	Carlos Jaramillo, PhD Staff Scientist, Smithsonian Tropical Research Institute jaramilloc@si.edu expertise in micropaleontology Christiano Ng, PhD

Journal of South American Earth Sciences

THE OLIGOCENE/MIOCENE BOUNDARY OF ILHA DE SANTANA AND PIRABAS FORMATIONS FROM THE PARÁ-MARANHÃO AND BARREIRINHAS BASINS AT THE EQUATORIAL NORTHWESTERN PLATFORM OF BRAZIL

--Manuscript Draft--



Orangel Aguilera <orangel.aguilera@gmail.com>

SAMES-D-23-00759 - Confirming your submission to Journal of South American Earth Sciences

1 mensaje

Journal of South American Earth Sciences <em@editorialmanager.com>

24 de noviembre de 2023, 16:45

Responder a: Journal of South American Earth Sciences <support@elsevier.com>

Para: "Orangel A. Aguilera" <orangel.aguilera@gmail.com>

This is an automated message.

THE OLIGOCENE/MIOCENE BOUNDARY OF ILHA DE SANTANA AND PIRABAS FORMATIONS FROM THE PARÁ-MARANHÃO AND BARREIRINHAS BASINS AT THE EQUATORIAL NORTHWESTERN PLATFORM OF BRAZIL

Dear Dr Aguilera,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Journal of South American Earth Sciences. It has been assigned the following manuscript number: SAMES-D-23-00759.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/sames/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,
Journal of South American Earth Sciences

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>

Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

At Elsevier, we want to help all our authors to stay safe when publishing. Please be aware of fraudulent messages requesting money in return for the publication of your paper. If you are publishing open access with Elsevier, bear in mind that we will never request payment before the paper has been accepted. We have prepared some guidelines (<https://www.elsevier.com/connect/authors-update/seven-top-tips-on-stopping-apc-scams>) that you may find helpful, including a short video on Identifying fake acceptance letters (<https://www.youtube.com/watch?v=o5I8thD9XIE>). Please remember that you can contact Elsevier's Researcher Support team (<https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>) at any time if you have questions about your manuscript, and you can log into Editorial Manager to check the status of your manuscript (https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/29155/c/10530/supporthub/publishing/kw/status/).#AU_SAMES#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Remove my information/details). Please contact the publication office if you have any questions.



Ministério da Educação
Universidade Federal do Pará
Sistema de Bibliotecas

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Autor: Beatriz Teixeira Guimarães

CPF: 02961303206

Matrícula: 202101770021

Telefone (91) 984376476

e-mail: beatriz.97.guimaraes@gmail.com

Curso/Programa: Mestrado em Geologia e Geoquímica/ PPGG

Orientador: Orangel Antonio Aguilera Socorro

Coorientador: _____

Data da Defesa: 27/12/2023

Título/Subtítulo: Estudo paleontológico do limite Oligoceno/Mioceno nas formações Ilha de Santana e Pirabas nas bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas na plataforma equatorial noroeste do Brasil.

Tipo do documento: () TCC¹ () TCCE² (X) Dissertação () Tese () Artigo Científico
() Livro () Capítulo de livro () Outro: _____

Declaro que, para os devidos fins, o presente trabalho é de minha autoria e que estou ciente:

- Dos Artigos 297 a 299 do Código Penal, Decreto-Lei n. 2.848 de 7 de dezembro de 1940;
- Da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre os Direitos Autorais;
- Do Regimento Interno da Universidade Federal do Pará;
- Da lei 12.527 de novembro de 2011, que trata da Lei de Acesso à Informação;
- Da utilização da licença pública internacional *Creative Commons 4.0*;
- Que plágio consiste na reprodução de obra alheia e submissão da mesma como trabalho próprio ou na inclusão, em trabalho próprio, de ideias, textos, tabelas ou ilustrações transcritos de obras de terceiros sem a devida e correta citação referencial.

Documento assinado digitalmente



BEATRIZ TEIXEIRA GUIMARAES

Data: 03/01/2024 18:42:58-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Belém/Pará- 03/01/2024

Autor

Local e Data

¹ Trabalho de Conclusão de Curso

² Trabalho de Conclusão de Especialização



Ministério da Educação
Universidade Federal do Pará
Sistema de Bibliotecas

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO E DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA PARA
PUBLICAÇÃO DIGITAL NO PORTAL INSTITUCIONAL DE ACESSO ABERTO DA UFPA**

1. Tipo de documento: () TCC³ () TCCE⁴ (X) Dissertação () Tese () Artigo Científico () Livro () Capítulo de Livro () Trabalho Apresentado em evento

2. Informações sobre a obra:

Autor: Beatriz Teixeira Guimarães

RG: 6250087 CPF: 02961303206 E-mail: beatriz.97.guimaraes@gmail.com Telefone: (91)984376476

Curso/Programa: Mestrado em Geologia e Geoquímica Orientador: Orangel Antonio Aguilera Socorro

Coorientador: _____ Título do documento: Estudo paleontológico do limite Oligoceno/Mioceno nas formações Ilha de Santana e Pirabas nas bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas na plataforma equatorial noroeste do Brasil.

Data da defesa: 27/12/2023 Área do Conhecimento: Geologia Marinha e Costeira

Agência de Fomento (*se houver*): CNPq

3. Informação de disponibilização do documento:

Restrição para publicação: () Total () Parcial (X) Sem restrição

Justificativa de restrição total*: _____

Em caso de restrição parcial, especifique os capítulos restritos: _____

A partir de qual data esse documento poderá ser disponibilizado: 03/01/2024

4. Permissões⁵

Permite o uso comercial da obra? (X) Sim () Não / Permitir modificações na obra? () Sim

(X) Não O documento está sujeito a patentes? (X) Sim () Não

5. T&D defendidas fora da instituição

É Tese ou Dissertação defendida fora da UFPA? () Sim (X) Não

Belém/Pará- 03/01/2024

Local e Data



Documento assinado digitalmente

BEATRIZ TEIXEIRA GUIMARAES

Data: 03/01/2024 18:48:26-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor

³ Trabalho de Conclusão de Curso

⁴ Trabalho de Conclusão de Curso em Especialização

⁵ Creative Commons Internacional 4.0