



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 617**

**CORRELAÇÃO BIOESTRATIGRÁFICA E  
PALEOECOLÓGICA DE FORAMINÍFEROS CENOZOICOS  
DAS FORMAÇÕES MARAJÓ E PIRABAS, NORDESTE DO  
ESTADO DO PARÁ, BRASIL**

**Dissertação apresentada por:**

**LAURA ESTEFANÍA GARZÓN ROJAS**

**Orientador: Prof. Dr. Joelson Lima Soares (UFPA)**

**Coorientadora: Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> Anna Andressa Evangelista Nogueira (UFPA)**

---

**BELÉM – PARÁ  
2022**

**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)**

---

G245c Garzón Rojas, Laura Estefanía.

Correlação bioestratigráfica e paleoecológica de foraminíferos  
cenozóicos das Formações Marajó e Pirabas, Nordeste do  
Estado do Pará, Brasil / Laura Estefanía Garzón Rojas. —2022.  
ix, 66 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Joelson Lima Soares  
Coorientador(a): Prof. Dr. Anna Andressa Evangelista  
Nogueira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de  
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologiae Geoquímica,  
Belém, 2022.

1. Bioestratigrafia. 2. Paleoecología. 3. Foraminíferos  
bentónicos. 4. Associações fossilíferas. 5. Paleoambiente. I.  
Título.

CDD 560.47

---



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

**CORRELAÇÃO BIOESTRATIGRÁFICA E  
PALEOECOLÓGICA DE FORAMINÍFEROS CENOZOICOS  
DAS FORMAÇÕES MARAJÓ E PIRABAS, NORDESTE DO  
ESTADO DO PARÁ, BRASIL**


**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:**

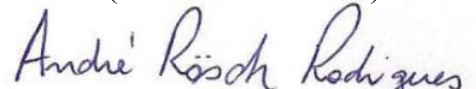
**LAURA ESTEFANÍA GARZÓN ROJAS**

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

**Data da aprovação: 18 / 07 / 2022**

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Dr. Joelson Lima Soares  
(Orientador – UFPA)

  
Prof. Dr. André Rosch Rodrigues  
(Membro - UFES)

  
Prof. Dr. José Bandeira Cavalcante da S. Júnior  
(Membro - UFPA)

*"A Terra é o lugar mais bonito aos nossos olhos do que qualquer outro que conhecemos. Mas essa beleza foi esculpida pela mudança: mudança suave, quase imperceptível, e mudança repentina e violenta. Não há lugar no cosmos que esteja a salvo de mudanças".*

CARL SAGAN, 1980

*Dedico este trabalho a minha família,  
por me sustentar e amar ao longo da  
minha evolução.*

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências e Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica pela oportunidade de completar meus estudos, pelo apoio técnico e logístico e pela disponibilidade dos laboratórios e materiais. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos durante o desenvolvimento do mestrado.

A meus pais/avôs, minha mãe e meus tios pelo amor incondicional, por motivar-me a ser melhor cada dia e voar alto, por mostrar-me a luz nos momentos atribulados da vida e acreditar em mim inclusive mais do que eu mesma, pelos fundamentos que me fizeram a mulher que sou hoje, gratidão eterna a toda a família.

Ao meu Orientador o professor Joelson Lima, que me deu a oportunidade de estar aqui no Brasil e sempre me apoio nas minhas loucuras na divulgação científica. Obrigado pela dedicação, paciência, tempo e motivação constante.

A minha Coorientadora a professora Anna Andressa Nogueira, por ser minha mentora, por estar incondicionalmente neste processo desde minha chegada no Brasil, com seu conhecimento, carinho, bondade e dedicação. Obrigada por me permitir crescer juntas e empoderadas, por ser minha colega, amiga e confidente.

Ao professor Afonso Nogueira por ter compartilhado sempre sua sabedoria comigo, por tantos aprendizados e por acreditar sempre no meu potencial como cientista.

Ao Grupo Gsed, ao laboratório de sedimentologia, petrografia sedimentar, catodoluminescência e microanálises da UFPA pelos equipamentos e ajuda técnica na realização das análises.

A meus amigos colombianos e brasileiros que fizeram destes dois anos uma experiência inesquecível de evolução pessoal.

A CPRM-BELÉM, pelas amostras cedidas, a disponibilização dos laboratórios de preparação de amostras e microanálises, e a ajuda técnica oferecida. Ao geólogo Manoel Imbiriba Júnior, por seu apoio constante na minha pesquisa.

À biblioteca central pela ajuda nas correções e formatação do documento final.

## RESUMO

Estudos prévios têm reavaliado aspectos estratigráficos e geofísicos nas sequências sedimentares da costa leste no nordeste do Estado do Pará, reinterpretando os limites geológicos da Bacia de Marajó e a Plataforma Bragantina, estruturas que são separadas pela Falha Vigia-Castanhal. Estes compartimentos geotectônicos, foram influenciados pelo aumento no influxo da drenagem cratônica transcontinental Andina do rio Amazonas e condicionados pelo maior evento transgressivo ocorrido a nível global no início do Neogeno, desenvolvendo na Plataforma Bragantina as sequências de carbonatos marinhos da Formação Pirabas (Oligo-Mioceno Médio) e a expressiva sedimentação siliciclástica carbonática da Formação Marajó desenvolvida na fase pós-rifte da Bacia de Marajó. Os dois testemunhos das localidades de estudo, Inhangapi (Formação Marajó) e Vigia (Formação Pirabas), encontram-se perto da Fossa Vigia-Castanhal e correspondem ao limite entre a Bacia de Marajó e a Plataforma Bragantina respectivamente. Este trabalho tem como objetivo correlacionar bioestratigraficamente as condições paleoambientais e paleoecológicas com base em análises multivariados qualitativos e quantitativos, correlação de associações de foraminíferos por meio do agrupamento *cluster* e medição de paleopropriedade com a razão P/B; realizados segundo a classificação taxonômica dos foraminíferos bentônicos de acordo com contribuições específicas. O conteúdo fóssilífero destas formações apresenta uma grande similaridade e diversidade nos microforaminíferos hialinos bentônicos que ocorrem tanto em ambientes deposicionais siliciclásticos quanto em carbonatos. Estes ambientes foram colonizados por uma diversa e abundante vida bentônica que indica águas rasas, quentes, de alta energia, boa circulação e oxigenação na zona marinha transicional. Confirmando que estas duas unidades sedimentares cenozoicas apresentam litologias e ambientes deposicionais diferentes, sendo a Formação Marajó gerada num ambiente marinho marginal restrito dinâmico, subóxico, salinidade variável e incursões marinhas confirmadas pela abundância das espécies como *Criboelphidium williamsoni*, *Ammonia tepida* e *A. beccarii*; e a Formação Pirabas foi interpretada em um ambiente marinho marginal salobro, óxico, de plataforma nerítica com abundância das espécies *Cibicides subhaidingerii* e *Cassidulina laevigata*. Estas duas localidades mantêm similaridades micropaleontológicas, confirmada pela presença de espécies como *Hanzawaia mantaensis*, *C. pachyderma*, *Uvigerina peregrina* e *Lobulata lobulata* que as converte em unidades cronocorrelatas.

**Palavras-chave:** Reconstrução Paleoecológica. Foraminíferos bentônicos. Associações fóssilíferas. Paleobatimetria. Taxonomia.

## ABSTRACT

Previous studies have re-evaluated stratigraphic and geophysical aspects of the sedimentary sequences of the east coast in the northeast of Pará state, reinterpreting the geological limits of the Marajó Basin and the Bragantina Platform, structures separated by the Vigia-Castanhal fault. These geotectonic compartments demonstrate the influence of the major transgressive event that occurred globally at the beginning of the Neogene and the intervention of the increased inflow from the Andean transcontinental cratonic drainage of the Amazon River on the development of the Bragantina Platform marine carbonate sequences from the Pirabas Formation (Oligo-middle Miocene) and the expressive siliciclastic-carbonate sedimentation of the Marajó Formation developed in the post-rift phase at the Marajó Basin. The two study sites Inhangapi (Marajó Formation) and Vigia (Pirabas Formation) are located near the Vigia-Castanhal trough and correspond to the boundary between the Marajó Basin and the Bragantina Platform respectively. This study aims at correlating biostratigraphically the paleoenvironmental conditions and paleoecologies based on qualitative and quantitative multivariate analysis, foraminifera association analysis by cluster grouping and paleodepth measurement with P/B ratio; carried out according to taxonomic classification of benthic foraminifera following specific contributions. The fossiliferous contents of these formations present a great similarity and diversity in the benthic hyaline microforaminifera that occur in both siliciclastic and calcareous depositional environments. These habitats have been colonized by a diverse and abundant benthic life that indicate shallow, warm, good circulation, and oxygenation in the transitional marine zone. Thus confirming that these two Cenozoic sedimentary units present different lithologies and depositional environments, the Marajó Formation being generated in a dynamic, suboxic, variable salinity, restricted marginal marine environment and marine incursions confirmed by the abundance of species such as *Criboelphidium williamsoni*, *Ammonia tepida* and *A. beccarii*; and the Pirabas Formation was interpreted as a brackish marine marginal environment and oxic of middle neritic platform with abundance of the species *Cibicides subhaidingerii* and *Cassidulina laevigata*. These two localities maintain micropaleontological similarities, confirmed by the presence of species such as *Hanzawaia mantaensis*, *C. pachyderma*, *Uvigerina peregrina* and *Lobulata lobulata* which converts them into chrono-correlative units.

**Keywords:** Paleoecological reconstruction. Benthic foraminifera. Fossiliferous associations. Paleobatimetry. Taxonomy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.1- Mapa geológico simplificado da região nordeste do estado do Pará com a indicação das principais localidades estudadas e seus respectivos perfis. Modificado de: Nogueira *et al.* (2021). ..... 3
- Figura 2.1- Arquitetura cenozóica da costa oriental da Amazônia. Fonte: Nogueira *et al.*, 2021, modificado de Soares Jr. *et al.*, 2011. .... 7
- Figure 3.1. Localization of the study area and regional geology of the basins of the northeast coast of Brazil, indicating the main localities and their respective profile. Modified from: Nogueira *et al.*, 2021. ....14
- Figure 3.2- Representative species of the main genus in the studie areas. Scale represents 100  $\mu\text{m}$ . (a) ventral view. 1a. *Criboelphidium williamsoni* Haynes; 2a. *Bolivina antiqua* d'Orbigny; 3a. *Cibicides pachyderma* Rzehak; 4a. *Cibicides pirabensis* Petri; 5a. *Lobulita lobulata* Walker & Jacob; 6a. *Cibicidoides subhaidingerii* Parr; 7a. *Rosalina floridana* Cushman; 8a. *Ammonia beccarii* Linnaeus; 9a. *Uvigerina peregrina* Cushman. 10a. *Hanzawaia mantaensis* Galloway & Morrey; 11a. *Cassidulina laevigata* d'Orbigny; 12a. *Siphonina pulchra* Cushman; 13a. *Amphistegina lessonii* var. *tumida* Petri; 14a. *Lagena laevis* Montagu; 15a. *Oolina borealis* Loeblich & Tappan; 16a. *Fissurina laevigata* Reuss; 17a. *Lenticulina rotulata* Lamarck; 18a. *Sorites orbiculus* Forsskål in Niebuhr; 19a. *Miliammina fusca* Brady; 20a. *Cornuspira planorbis* Schultze. ....19
- Figure 3.3- Amplitude of Alpha Fisher diversity index for foraminifera from marginal marine environments and platforms in the intervals of Marajó Formation (yellow) and Pirabas Formation (pink). Modified from: Boltovskoy and Wright, 1972. ....21
- Figure 3.4- Bivariable diagram of the relationship of Shannon index (H') with Alpha Fisher index of the intervals of the Marajó Formation (yellow) and Pirabas Formation (pink). Modified from: Murray, 2006. ....22
- Figure 3.5- Lithostratigraphy profile of the fossiliferous levels in the Marajó Formation integrating paleoenvironmental indicators such as Planktonic/Benthic ratio (%), wealth index, paleo-oxygen dissolution and paleoenvironmental interpretation. ....22
- Figure 3.6- Lithostratigraphy profile of the fossiliferous levels in the Marajó Formation integrating paleoenvironmental indicators such as Planktonic/Benthic ratio (%), wealth index, paleo-oxygen dissolution and paleoenvironmental interpretation. ....23
- Figure 3.7- Ternary diagram for paleoenvironmental interpretation based on the tests types (Hyaline, Porcelanate, Agglutinated) of benthic foraminifera of the Marajó (yellow) and Pirabas (pink) formations. Modified from: Armstrong & Brasier, 2005. ....24



Figure 3.8- Biostratigraphy profile of the Marajó Formation integrating lithostratigraphy and fossiliferous associations.....	28
Figure 3.9- Biostratigraphic profile of the Pirabas Foramation integrating lithostratigraphy and fossiliferous associations.....	29
Figure 3.10- Sedimentological and paleoenvironmental reconstruction model of the study area.....	30

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 ÁREA DE ESTUDO .....	2
1.4 MÉTODOS.....	4
1.4.1 Preparação de amostras .....	4
1.4.2 Triagem e Classificação Sistemática de Foraminíferos Bentônicos.....	4
1.4.3 Tratamento de dados .....	4
1.4.3.1 Abundância relativa (AR) (%): .....	4
1.4.3.2 Frequência de ocorrência (FO) (%): .....	5
1.4.3.3 Índice de Riqueza (R):.....	5
1.4.3.5 Índice de Diversidade de Fisher (1943) ( $\alpha$ ):.....	6
1.4.4 Análises Multivariadas.....	6
1.4.4.1 Análise de associações de foraminíferos bentônicos: .....	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1.1 Arcabouço tectônico e estratigráfico .....	7
2.1.2 Contextos Bioestratigráficos e Micropaleontológicos .....	9
3 RESULTADOS.....	11
3.1 FORAMINIFERA FROM THE MARAJÓ BASIN AND BRAGANTINA PLATFORM: BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOECOLOGICAL CORRELATION OF CENOZOIC DEPOSITS IN THE EASTERN AMAZON COAST .....	11
3.2 INTRODUCTION.....	13
3.3 GEOLOGICAL AND PALEONTOLOGICAL SETTING.....	15
3.4 MATERIAL AND METHODS .....	16
3.5 RESULTS.....	17
3.5.1 Taxonomy .....	17
3.5.2 Multivariate analysis.....	20
3.5.2 Qualitative Analysis.....	27

3.6 CONCLUSIONS.....	29
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
REFERÊNCIAS.....	32
APÉNDICE A: SYSTEMATIC OF BENTHIC FORAMINIFERA MARAJÓ AND PIRABAS FORMATIONS.....	36

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Os depósitos Oligo-Miocenos na costa leste da Amazônia Oriental Brasileira foram influenciados pelos eventos regressivo-transgressivos e a consequente queda do nível do mar, registrados em uma sequência distensiva pós-rift com reativação de falhas (Rossetti & Santos, 2004, Rossetti *et al.*, 2013). As formações Pirabas e Marajó formadas em diferentes cenários geotectônicos registram este período no nordeste do Estado do Pará. A Formação Pirabas (Oligo-Mioceno) é caracterizada pela predominância de depósitos carbonáticos que ocorrem na Plataforma Bragantina, a porção *onshore* da Bacia Pará-Maranhão. Esta unidade registra ambientes costeiros rasos que passaram por variações no nível do mar, baixas taxas de sedimentação e esporádicos influxos siliciclásticos (Góes *et al.*, 1990; Rossetti, 2001; Rossetti & Góes, 2004).

A influência siliciclástica da costa atlântica foi incipiente durante o Oligoceno Superior e o Mioceno Inferior, devido à elevação inicial da Cordilheira dos Andes (Costa *et al.*, 2009; Shephard *et al.* 2010). Na porção leste do sistema de grábens da Bacia de Marajó encontram-se as rochas siliciclásticas arenosas e argilosas da Formação Marajó (Oligo-Mioceno) geradas em leques deltaicos alimentados pela drenagem cratônica transcontinental Andina do rio Amazonas, possuindo assim um grande volume de siliciclásticos que colapsaram a plataforma carbonática durante o Mioceno (Galvão, 2004; Zalán & Matsuda, 2007; Nogueira *et al.*, 2021).

Uma baixa contribuição dos sedimentos oceânicos no Mioceno Inferior favoreceu na expansão da zona fótica e a formação de carbonatos ricos em diversidade da fauna e flora marinhas rasas ao longo da costa influenciada pelo rio Amazonas cratônico durante o final do Mioceno, registrado principalmente na formação Barreiras (Costa *et al.*, 2009; Aguilera *et al.*, 2014; Nogueira *et al.*, 2021; Moizinho *et al.*, 2022). Estes ambientes foram colonizados por uma diversa e abundante vida bentônica que indicam águas rasas, quentes, de alta energia, boa circulação e oxigenação na zona fótica em uma plataforma conectada ao Oceano Atlântico (Távora *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Costa *et al.*, 2009; Aguilera, 2012; Aguilera *et al.*, 2014; Távora & Bosco, 2016; Nogueira *et al.*, 2021).

Apesar destas duas unidades exibirem uma clara diferença litológica devido terem sido geradas em ambientes deposicionais distintos, o conteúdo fossilífero apresenta uma grande

similaridade e diversidade de microforaminíferos hialinos bentônicos que ocorrem tanto em ambientes deposicionais siliciclásticos quanto em calcários, demonstrando a plasticidade destes às condições paleoambientais transitórias que diferenciam estas formações do resto da Subprovíncia Proto-caribe (Petri, 1954, 1957; Aguilera & Tavares, 2012; Duleba, *et al.*, 2018).

A fauna Neogena destas formações representam o registro mais importante do evento transgressivo marinho ocorrido no norte do Brasil durante o Mioceno (Távora *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Costa *et al.*, 2009; Távora *et al.*, 2013; Távora & Bosco, 2016; Ramalho *et al.*, 2017; Nogueira *et al.*, 2021). A Formação Marajó representa um ambiente transicional estuarino e de plataforma interna com incursões marinhas e aporte de água doce, sugerido pela presença de espécies como *Amphistegina* sp., *Quinqueloculina*, *Elphidium* e *Globigerina*; assim mesmo a Formação Pirabas registra abundância de macroforaminíferos da família Soritidae e espécies como *A. lessonii*, além de uma abundância de foraminíferos planctônicos do gênero *Globigerinoides*, indicando um ambiente plataformal raso de águas límpidas (Petri, 1954; Távora & Garrafiello, 1999; Duleba, *et al.*, 2018).

Este estudo permitiu fortalecer a interpretação paleoambiental e correlacionar bioestratigraficamente a Formação Marajó na localidade de Inhangapi e a Formação Pirabas na localidade de Vigia, no nordeste do Estado de Pará, por meio da classificação sistemática dos foraminíferos bentônicos associados as amostras de calha destes dois depósitos. A partir destes dados foi possível discutir a correlação temporal entre as duas unidades e relacionar as associações fossilíferas com os diversos índices de diversidade, determinando assim condições paleoecológicas como paleoprofundidade a partir da razão bentônicos/planctônicos.

## 1.2 ARÉA DE ESTUDO

As áreas estudadas localizam-se no Nordeste do Estado do Pará, Brasil, nos municípios de Inhangapi (01°25'50,8"; 47°54'30,5"), poço P-11: 1500007603, a 86 km da capital do Pará, e Vigia (0°51'14"; 48°08'23,5"), poço P-12: 1500005722, a 97 km de Belém, ambas próximas à Fossa Vigia-Castanhal. As amostragem de calha utilizadas encontram-se em aliquotas de poços tabulares na parte urbana dos municípios; o acesso para estas localidades é feito pelas rodovias BR 31, PA 316, PA 456 E PA 140, além de estradas vicinais (Figura 1.1).

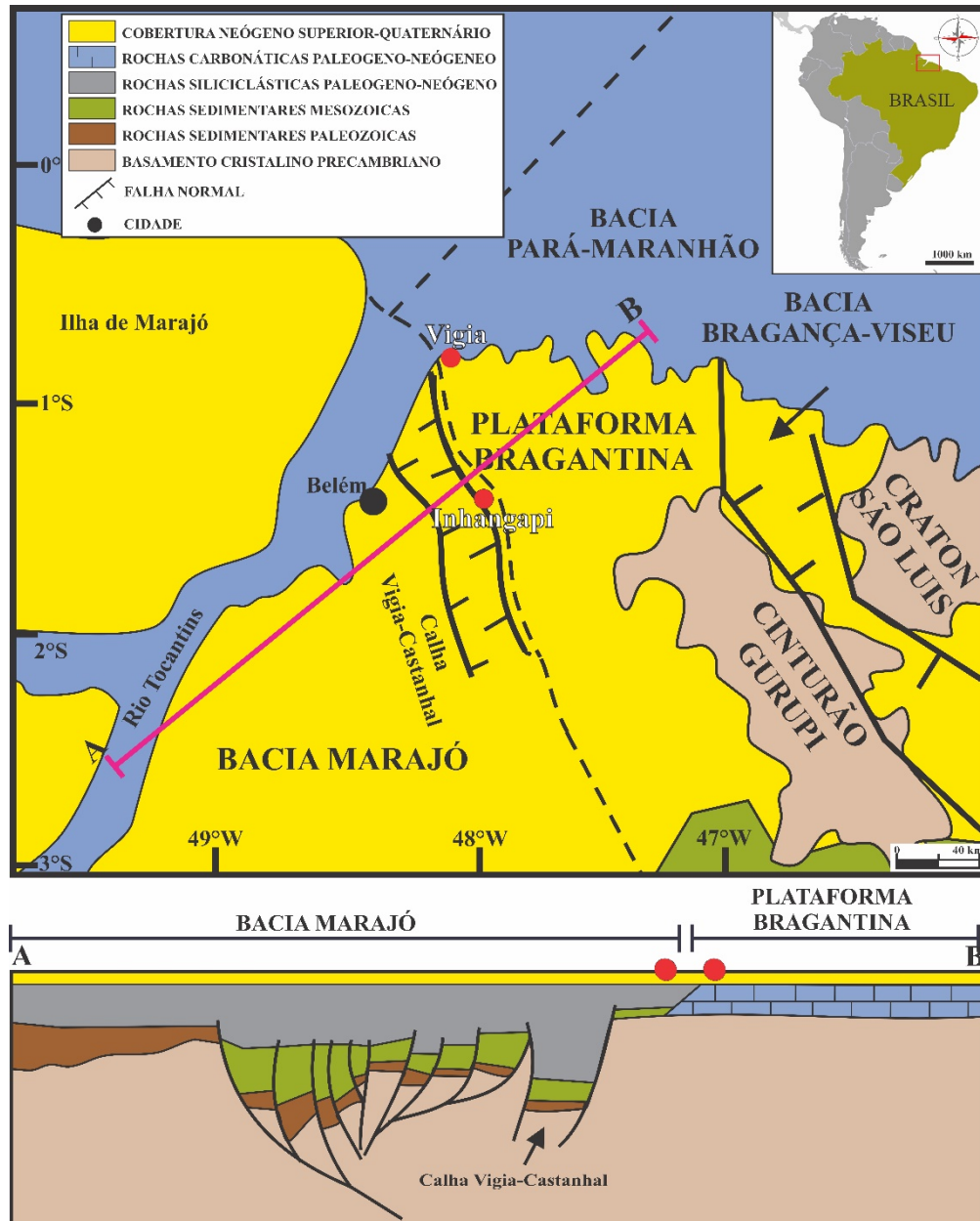


Figura 1.1- Mapa geológico simplificado da região nordeste do estado do Pará com a indicação das principais localidades estudadas e seus respectivos perfis. Modificado de: Nogueira *et al.* (2021).

### 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo correlacionar o conteúdo de foraminíferos bentônicos entre as formações Pirabas e Marajó, com o propósito de discutir a relação bioestratigráfica e paleoecológica entre as duas unidades e buscar confirmar o limite oriental da Bacia do Marajó e seu contato com a Plataforma Bragantina. Classificar sistematicamente os foraminíferos bentônicos que ocorrem associados aos perfis amostrados das localidades do Inhangapi e Vigia o que permitiu avaliar a formação (Marajó e Pirabas) correspondente a estes perfis segundo o conteúdo fóssil e aspectos sedimentológicos. Considerar critérios

multivariados na avaliação das condições paleoambientais e integrá-los com a identificação das espécies bioindicadoras das associações fossilíferas o que permitiu propor um modelo paleoambiental e sedimentar com base na interpretação bioestratigráfica e biocronológica das formações Marajó e Pirabas.

## 1.4 MÉTODOS

### 1.4.1 Preparação de amostras

As 60 amostras cedidas pelo projeto RIMAS-BELÉM foram quarteadas e pesadas no laboratório de preparação de amostras da CPRM, posteriormente processadas no laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências da UFPA. Em torno de 150g de peso bruto pertencentes aos níveis com conteúdo carbonático (tomada de 2 em 2 metros) foram tratadas com métodos usuais para microfósseis calcários (Carvalho, 2010; Petró, 2018), passando por uma lavagem em solução contendo peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) a 130 volumes e álcool etílico ( $C_2H_6O$ ) a 90%; depois do processo de desagregação a fração líquida é retirada e secadas na estufa à 60°C. Posteriormente, o peneiramento das amostras foi realizado nas malhas de abertura de 500, 250, 180, 125 e 63 $\mu$ m, pesando o material de cada peneira para a posterior análise granulométrica.

### 1.4.2 Triagem e Classificação Sistemática de Foraminíferos Bentônicos

Foram quarteados e utilizados aproximadamente 10 g por amostra das peneiras 250 - 63  $\mu$ m para triagem sob lupa binocular com auxílio de pincéis (n°00) na sala de micropaleontologia do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares (GESED-UFPA); os exemplares triados foram colados em lâminas “células Franke” e preparados *stubs* para realizar fotografias no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), obtidas no Laboratório de Microanálises da CPRM-BELÉM. A identificação taxonômica dos foraminíferos bentônicos foi baseada nas chaves de classificação de Moore & Pitrat (1961), Morkoven (1963), além do trabalho de revisão sistemática propostos por Loeblich & Tappan (1964) e outras contribuições especializadas.

### 1.4.3 Tratamento de dados

#### 1.4.3.1 Abundância relativa (AR) (%):

É a razão entre o número de indivíduos de uma espécie na amostra (n) e o número total de indivíduos de todas as espécies (T). Calculado a partir da fórmula:

$$AR = \frac{n*100}{T} \quad (1)$$

Segundo Dajoz (1983), as espécies são divididas em: espécies principais quando apresenta abundância maior que 5%; espécies acidentais se tem abundância entre 1% e 5 %; e espécies traços para abundância menor que 1%.

#### 1.4.3.2 *Frequência de ocorrência (FO) (%)*:

Definida como a relação entre o número total de amostras estudadas (P) e o número de amostras onde a espécie apareceu (p). Calculado com a fórmula:

$$FO = \frac{p*100}{P} \quad (2)$$

As espécies são agrupadas segundo os valores obtidos, baseadas nas categorias de Dajoz (1983), onde as espécies constantes estão presentes em mais de 50% das amostras; as espécies acessórias estão presentes em 25% a 50% das amostras; e as espécies acidentais, presentes em menos de 25% das amostras.

#### 1.4.3.3 *Índice de Riqueza (R)*:

Segundo Murray (2006) é definido como a relação do número total de espécies (S) e o número total de indivíduos (N) presentes em cada amostra. Calculado com a fórmula:

$$R = \frac{(S-1)}{\log N} \quad (3)$$

#### 1.4.3.4 *Índice de Diversidade de Shanon-Wiener (1948) (H')*:

Sendo um dos índices mais empregados, representa a proporção da abundância relativa de cada espécie (pi) e a distribuição das mesmas em cada amostra, utilizando a unidade “bit” Pielou (1984) com logaritmo e base 2; sendo (S) o número total de espécies, (ni) número de indivíduos de uma determinadas espécie e (N) o número total de indivíduos por amostra (Cultid-Medina e Escobara, 2019). Expressado com a fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^S (pi * \log_2 pi) \text{ onde } PI = ni/N \quad (4)$$

Segundo a escala pode-se definir: diversidade baixa (0-0,35); diversidade média (0,35-0,75) e diversidade alta (0,76-1,0).



#### 1.4.3.5 Índice de Diversidade de Fisher (1943) ( $\alpha$ ):

Relaciona o número de espécies ( $S$ ) ao número de indivíduos de cada espécie ( $N$ ), permitindo avaliar a amplitude dos foraminíferos em ambientes de plataforma marinha marginal (Boltovskoy & Wright, 1972). Definido pela fórmula:

$$S = \alpha \ln \left( 1 + \frac{N}{\alpha} \right) \quad (5)$$

### 1.4.4 Análises Multivariadas

#### 1.4.4.1 Análise de associações de foraminíferos bentônicos:

Realizado por meio do agrupamento *Cluster* modo-R (agrupamento entre espécies) permite determinar grupos de *Clusters* individuais ou dendrogramas com base no coeficiente de similaridade de Morisita (1959), baseado na abundância das espécies nas diferentes amostras para identificar as possíveis associações paleoecológicas; as análises foram feitas com o programa *Paleontological Statistics – PAST* (versão 4.03) (Hammer & Harper, 2006).

#### 1.4.4.2 Razão Planctônicos e Bentônicos:

Usada na reconstrução paleoceanográfica, avalia o número de foraminíferos planctônicos ( $P$ ) em relação ao de bentônicos ( $B$ ) em cada amostra, com base na correlação ( $P/B$ ) de Cluver (1988) para medição de profundidade relativa, onde:

- Zona transicional: 100% de bentônicos;
- Zona de plataforma interna: >10% de planctônicos;
- Zona de plataforma média (20-100m): ~10% de planctônicos;
- Zona de plataforma externa (100-200m): +/- 50% de planctônicos
- Zona de talude superior (200-500m): >50% de planctônicos;
- Zona de talude inferior e abissal (>500m): predomínio de planctônicos.

### 1.4.5. Concentração de paleoxigenação:

Os níveis de concentração de paleoxigenação tem um papel fundamental no controle das assembleias de foraminíferos, segundo o Kaiho (1994), os ambientes óxicos apresentam concentrações >1.5 ml/l O<sub>2</sub> com espécies do gênero indicador *Cibicidoides*; os ambientes suboxicos com concentrações de 0.3-1.5 ml/l O<sub>2</sub>, evidenciam espécies pequenas dos gêneros *Lenticulina*, *Nodosaria*, *Uvigerina*, *Hoegludina*, etc., finalmente os ambientes disoxicos definidos com concentrações 0.1-0.3 ml/l O<sub>2</sub> com presença de espécies do gênero *Bolivina*.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1.1 Arcabouço tectônico e estratigráfico

De maneira global, os movimentos produzidos pelas placas do Caribe e do Pacífico durante o Meso-Triássico contribuíram na abertura do Oceano Atlântico Equatorial e na separação entre América do Norte e Sul; esforços relacionados com a desagregação do Pangea, formam a margem Atlântica Equatorial da América do Sul em 3 estágios de rifteamento começando o desenvolvimento das bacias sedimentares do norte brasileiro desde o Neotriássico - Eocretáceo (Soares *et al.*, 2008). Os depósitos sedimentares Mesozoicos ao longo da costa Amazônica Oriental Brasileira, foram desenvolvidos dentro de uma sequência distensiva pós-rifte, desencadeando a reativação de falhas e uma queda expressiva do nível do mar gerando mais espaço de acomodação (Figura 2.1) (Rossetti & Santos, 2004, Nogueira *et al.*, 2021).

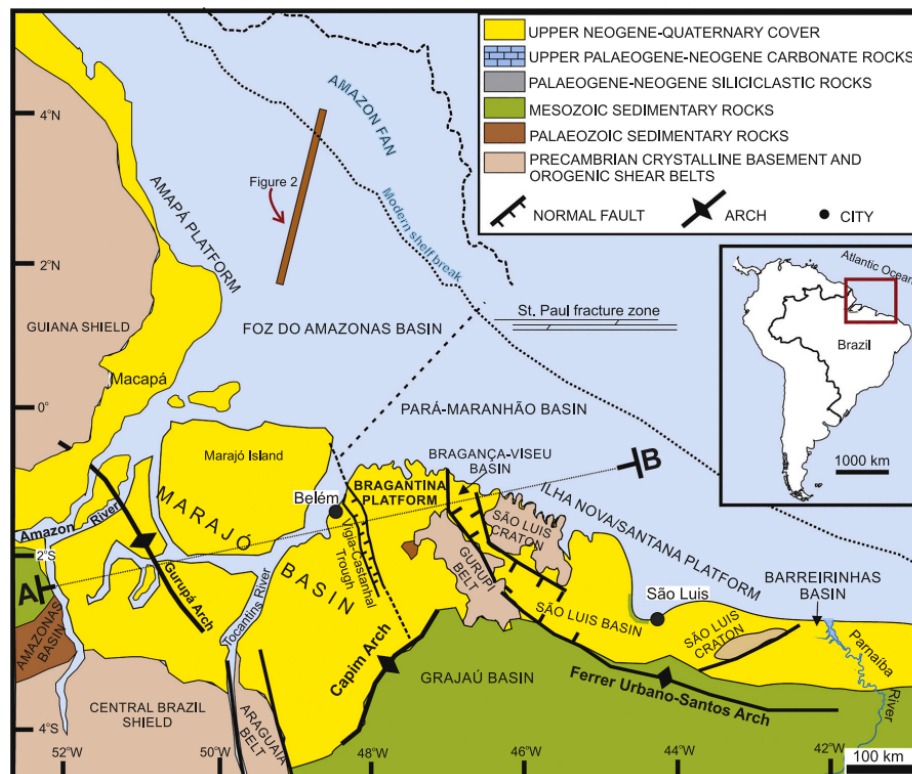


Figura 2.1- Arquitetura cenozóica da costa oriental da Amazônia. Fonte: Nogueira *et al.*, 2021, modificado de Soares Jr. *et al.*, 2011.

Assim, esta série de eventos regressivos-transgressivos associados à subsidência tectônica, registrados durante o Neogeno (24 a 2,5 Ma), resultaram na supressão da sedimentação carbonática e no aumento do influxo de siliciclásticos que influenciaram na diversificação biótica nos ambientes transicionais da região (Rossetti *et al.*, 2013; Nogueira *et al.*, 2013; Van Soelen *et al.*, 2017; Albert *et al.*, 2018; Alvim *et al.*, 2021).

No litoral norte do Estado do Pará, os registros destes eventos são encontrados em estruturas como a Plataforma Bragantina, integrada por áreas emergentes e submersas que permaneceram estáveis após a ruptura de Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico (Aguilera *et al.*, 2014). Esta área registra depósitos de carbonatos marinhos rasos, ricos em diversidade de fauna e flora, influenciados por diversas mudanças no nível do mar, assim como um significativo volume de siliciclásticos proveniente de antigas bacias hidrográficas que se localizavam nas regiões cratônicas durante toda a evolução sedimentar no Paleogeno tardio ao Neogeno (Rossetti, 2001; Mascarenhas *et al.*, 2016; Nogueira *et al.*, 2021; Moizinho *et al.*, 2022).

Esta sequência progradacional é correlacionada com a Formação Pirabas, depositada no último estágio da sedimentação carbonática em ambientes transicionais ao longo da costa amazônica no Mioceno e composta de níveis heterogêneos de carbonatosossilíferos e arenitos bioclásticos intercalados com argilitos laminados, gerados em um ambiente plataformal raso, transicional (lagunar-estuarino) influenciados por maré (Góes *et al.*, 1990; Brandão & Feijó 1994; Costa *et al.*, 2009; Aguilera, *et al.*, 2014; Nogueira & Nogueira, 2017; Nogueira *et al.*, 2021; Moizinho *et al.*, 2022).

Esta unidade é desenvolvida em um trato de sistema transgressivo, passando para um trato de mar alto durante um curto intervalo de tempo o que favorece a formação de um bioherma com taxa de endemismo entre 25 e 50% e influenciada por mudanças nos gradientes dos parâmetros oceanográficos, clima e nível do mar, considerados eventos abióticos e geológicos, responsáveis por bioeventos globais, regionais e alguns locais também registrados nesta formação (Távora *et al.*, 2010; Távora *et al.*, 2013; Távora & Bosco, 2016).

Dessarte, situada próximo à cidade de Belém, com uma forma alongada na direção NW-SE, na confluência dos rios Amazonas e Tocantins, encontra-se a Bacia do Marajó, uma estrutura desenvolvida dentro de uma arquitetura estrutural/estratigráfica de graben, integrada por rochas sedimentares depositadas em quatro sub-bacias, Mexiana, Limoeiro, Cameté e Mocajuba (Costa *et al.*, 2002; Figueiredo *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2008).

Dentro desta sequência pós-rifte destaca-se a Formação Marajó, composta por sedimentos clásticos arenosos depositados em ambientes continental, transicional e marinho marginal que inclui depósitos fluviais e de planície costeira do sistema de

drenagem do rio Amazonas cratônico (Rossetti & Santos, 2004; Zalán & Matsuda, 2007; Soares *et al.*, 2008; Nogueira *et al.*, 2021), cuja parte superior está correlacionada com a sequência marinha de águas rasas que deu origem à Formação Pirabas (Figura 2.2) (Costa *et al.*, 2002).

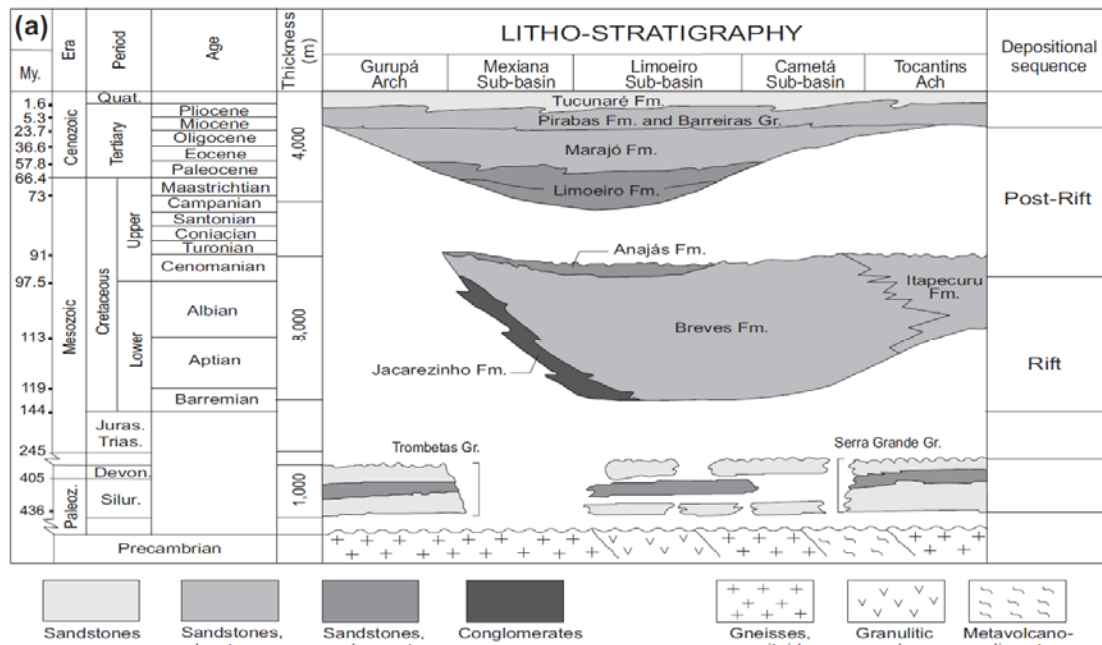


Figura 2.2- Coluna litoestratigráfica da Bacia do Marajó. Fonte: Lima, 1987, modificado de Costa *et al.*, 2002.

### 2.1.2 Contextos Bioestratigráficos e Micropaleontológicos

A aplicação da bioestratigrafia desenvolve-se através do estudo dos microfósseis, dentre os quais destacam-se os foraminíferos, que representam um dos grupos mais pesquisados e utilizados para o zoneamento, correlação de estratos, análises oceanográficas, bioestratigráficas e interpretações ambientais e paleoambientais. Isto se deve à abundância nos sedimentos, excepcional forma de preservação, ampla distribuição geográfica e batimétrica, alta diversidade e principalmente sensibilidade às variações das condições ambientais (temperatura, profundidade, salinidade, caráter do fundo, luminosidade, turbidez da água, pH e outros) (Loeblich & Tappan, 1988; Jorissen, 1999; Samir & El-Din, 2001; Zalán & Andrade, 2008). Estas variações qualitativas e quantitativas de foraminíferos acumulados nos sedimentos refletem as mudanças no padrão de circulação oceânica e no clima de uma região ao longo do tempo geológico (Boltovskoy *et al.*, 1996).

As assembléias faunísticas do Neogeno tropical do Atlântico Centro-Oeste-América do Sul, como as presentes na Formação Pirabas do Mioceno Inferior, possuem diversidade,

condição paleoceanográfica e ecossistemas específicos associadas a transgressões resultantes da elevação global do nível do mar, que a diferenciam do resto da Subprovincia Protocariana; registrando um ambiente transicional nerítico caracterizado por lagunas marginais, planícies de maré, delta de maré, praias e mangues associados a sistemas de ilhas barreira (Távora *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Costa *et al.*, 2009; Aguilera & Tavares, 2012; Távora & Bosco, 2016; Nogueira *et al.*, 2021).

Alguns foraminíferos hialinos encontrados na Formação Marajó são típicos de ambientes costeiros, e podem ser localizados da mesma forma em algumas partes dos siliciclásticos e nos calcários da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno), porém eles foram gerados em ambientes deposicionais distintos; da mesma forma o conteúdo do microforaminíferos *Elphidium* e *Amphistegina* da Formação Pirabas na sua biofácies Castelo se encontra também na parte superior da Bacia do Marajó (Duleba *et al.*, 2018).

Estas formações contém uma grande diversidade de foraminíferos (planctônicos e bentônicos), ostracoda, briozoários, bivalves, equinodermos, corais, outros vertebrados como ossos de peixes, crocodilianos, cetáceos, sirênios, assim como icnofósseis, pólenes e paleoflora que representam o registro mais importante do evento transgressivo marinho ocorrido no nordeste do Brasil durante o Mioceno (Távora *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Costa *et al.*, 2009; Távora *et al.*, 2013; Távora & Bosco, 2016; Ramalho *et al.*, 2017; Nogueira *et al.*, 2021).

Maury, 1925 realizou a primeira descrição de macrofósseis na Formação Pirabas, datada do Oligoceno tardio ao Mioceno Inferior, com base na presença do gastrópode do gênero *Orthaulax*, da mesma forma, outros autores identificaram fósseis-guia como as espécies de foraminíferos planctônicos do gênero *Globigerinoides*. Por outro lado foram identificados foraminíferos planctônicos como: *Globorotalia kugleri*, *Globigerinoides primordius*, *G. altiapertura*, *G. trilobus trilobus* e *Globoquadrina dehiscens*, dando a esta formação uma idade Aquitaniano-Burdigaliano e ostracodes como a biozona *Cytherella stainforthi* e a sub-biozona *Jugosocythereis pannosa*, que determina a transição entre Oligoceno e Mioceno, assim como estudos com base nos valores  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtidos das conchas de *Chlamys*, a datação girou em torno de 16,0 a 17,3 M (Petri, 1957; Távora & Coelho, 2006; Mascarenhas *et al.*, 2016; Martinez *et al.* 2017; Nogueira & Nogueira, 2017).

Com base nos foraminíferos descritos por Petri (1957) esta unidade foi dividida em três biofácies com designações informais: a biofácies Castelo (ou Fortaleza), representa uma plataforma aberta e plana, ambiente nerítico e de mar aberto; a biofácies Capanema (Canecos

ou Olaria), evidencia um ambiente transicional de plataforma restrita de salinidade reduzida e águas mais rasas, com abundância de moluscos e a biofácies Baunilha Grande que evidencia ambientes de mangues e pântanos devido a abundância de caranguejos fósseis.

Estudos com microfósseis registraram a presença de corais, briozoários, espinhos do equinodermos, bivalves, macroforaminíferos (família Soritidae), fragmentos de sirenídeo e vegetais (Távora & Garrafielo, 1999). A presença de *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny) indica água limpa de ambientes ricos em algas calcárias, assim como briozoários como, *Cupuladria canariensis* e *Steginoporella pirabensis* com composição eurialina, indicam uma salinidade anormal com tendência a ambientes hipersalinos (Távora & Bosco, 2016).

Em relação ao conteúdo fossilífero, apresentam-se poucos estudos na Formação Marajó, localizada na Subprovíncia do Norte definida por Boltovskoy (1976), com base na espécie de foraminíferos *Amphistegina lessonii* que ocorre até a atualidade em carbonatos de mar aberto, profundidades de até 120m e 14°C de temperatura na região tropical, enquanto nas regiões mais rasas a *A. lessonii* é acompanhada por *Archaias* abaixo de 45m. Esta formação contém espículas de esponjas e equinodermos, fragmentos de corais e briozoários, conchas de moluscos, dentes e ossos de peixes, esporos, fragmentos de plantas, foraminíferos bentônicos, macroforaminíferos da família Peneroplidae e do gênero *Amphistegina*, e diversos foraminíferos planctônicos como *Orbulina suturalis* (Aquitânico) e *Globoquadrina quadraria var. advena* considerados como fósseis guia do Eomioceno. Sugerindo assim, uma fauna típica de ambientes marinhos costeiros, próximos a recifes de coral semelhantes à fauna Proto-caribena miocênica da Colômbia, Venezuela, Trinidad, Jamaica, Cuba, Porto Rico, Haiti e São Domingos (Duleba *et al.*, 2018).

### 3 RESULTADOS

Artigo a ser submetido em Journal South America Earth Science.

#### 3.1 FORAMINIFERA FROM THE MARAJÓ BASIN AND BRAGANTINA PLATFORM: BIOSTRATIGRAPHY AND PALEOECOLOGICAL CORRELATION OF CENOZOIC DEPOSITS IN THE EASTERN AMAZON COAST

Laura Estefanía Garzón Rojas<sup>a\*</sup>, Joelson Lima Soares<sup>a</sup>, Anna Andressa Evangelista Nogueira<sup>a</sup>, Afonso Cesar Rodrigues Nogueira<sup>a</sup>, Manoel Imbiriba Júnior<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, PA, 66075-750, Brazil.

<sup>b</sup>Geological Survey of Brazil, Brazil. SGB-CPRM.

\*Contact author

## Abstract

The Oligocene-Miocene foraminifera biostratigraphy correlation has been applied successfully as a geological tool for establishing the paleoenvironmental conditions during the deposition of siliciclastics and carbonate strata in the Eastern Amazon coastal basins. In this region, previously interpreted tectonic compartments represented by the Marajó Basin and Bragantina Platform were the main sites of siliclastic and carbonate sedimentation influenced by Late Paleogene-Neogene transgressive–regressive events. In the subsident Marajó basin, a siliclastic estuary was developed, supplied by Cratonic Amazon River. The transcontinental river not influenced the Bragantina region to East allowed the implantation of a shallow carbonate platform. The structural limits of these tectonic compartments are completely buried by the broad distribution of the Neogene cover. In the same way, the distinction of these segments never was addressed by sedimentological, stratigraphic and paleontological data. The use of foraminifera content has been considered as an important tool for to assist in this differentiation providing a model of paleoenvironmental and paleoecological reconstruction. In this work were used qualitative and quantitative analyses integrating several diversity indices, complemented with the R-mode cluster and planktonic and benthic (P/B) ratios correlation. The similarity in faunal diversity indicated that these siliclastic and carbonate units represented by the Marajó and Pirabas formations are chronocorrelates. Marajó Formation is interpreted as a restricted, suboxic, high energy marginal marine environment (lagoons/mangroves) with variable salinity and abundance of the species as *Criboelphidium williamsoni*, *Ammonia tepida* and *A. beccari*. In contrast, the Pirabas Formation was deposited in a brackish, oxic, and carbonate platform characterized by the species *Cibicidoides subhaidingerii*, *Cibicides pachyderma* *A. beccarii* and *Cassidulina laevigata*. These foraminifera assemblages confirm the previous stratigraphic and paleoenvironmental interpretations providing new insights to understand the Late Paleogene-Neogene evolution of the Eastern Amazonia Coast.

**Key words:** Paleogene-Neogene, Transitional deposits, Biocorelation, Taxonomy, Benthic Foraminifera.

### 3.2 INTRODUCTION

During the Neogene (24 to 2.5 Ma), a series of regressive-transgressive events associated with tectonic subsidence were recorded along the eastern Amazon coast, resulting in the suppression of carbonate sedimentation concomitant with the progressive increase of siliciclastic inflow on the coastal zone influencing the biotic diversification (Rossetti *et al.*, 2013; Nogueira *et al.*, 2013; Van Soelen *et al.*, 2017; Albert *et al.*, 2018; Alvim *et al.*, 2021). In the Eastern Amazon Coast, these events are recorded by siliciclastic and carbonate rocks exposed in the eastern Marajó Basin and Bragantina Platform, structurally separated by the NNW-SSE trending Vigia-Castanhal fault (Costa *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Zalán & Matsuda, 2007; Soares *et al.*, 2008; Moizinho *et al.*, 2022) (Fig. 3.1).

The siliciclastic Marajó Formation is rarely fossiliferous and consists of calciferous sandstone, pelites and shale interpreted as lagoons, mangroves, fluvial and coastal plain deposits supplied by the Cratonic Amazon River (Rossetti & Santos, 2004; Zalán & Matsuda, 2007; Nogueira *et al.*, 2021). Pirabas Formation represents a densely fossiliferous carbonate rocks interbedded with bioclastic sandstone and laminated pelites of shallow platform and peritidal (lagoon-estuarine) settings (Góes *et al.*, 1990; Nogueira & Nogueira, 2017). Continental to coastal siliciclastic deposits from the Barreiras Formation (Early-Middle Miocene) unconformably overlies the Marajó Formation and developed gradual contact with Pirabas Formation (Rossetti, 2006; Zalán & Matsuda, 2007; Soares *et al.*, 2008; Nogueira *et al.* 2021).

The faunal assemblages of these units have a great diversity of foraminifera (planktonic and benthic), ostracoda, coral fragments, teeth and other vertebrate and invertebrate macrofossils, as well as ichnofossils, pollens and paleoflora that represent the most important record of the marine transgressive event occurred in northern Brazil during the Oligo-Miocene (Távora *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Távora & Bosco, 2016; Ramalho *et al.*, 2017; Nogueira *et al.*, 2021).



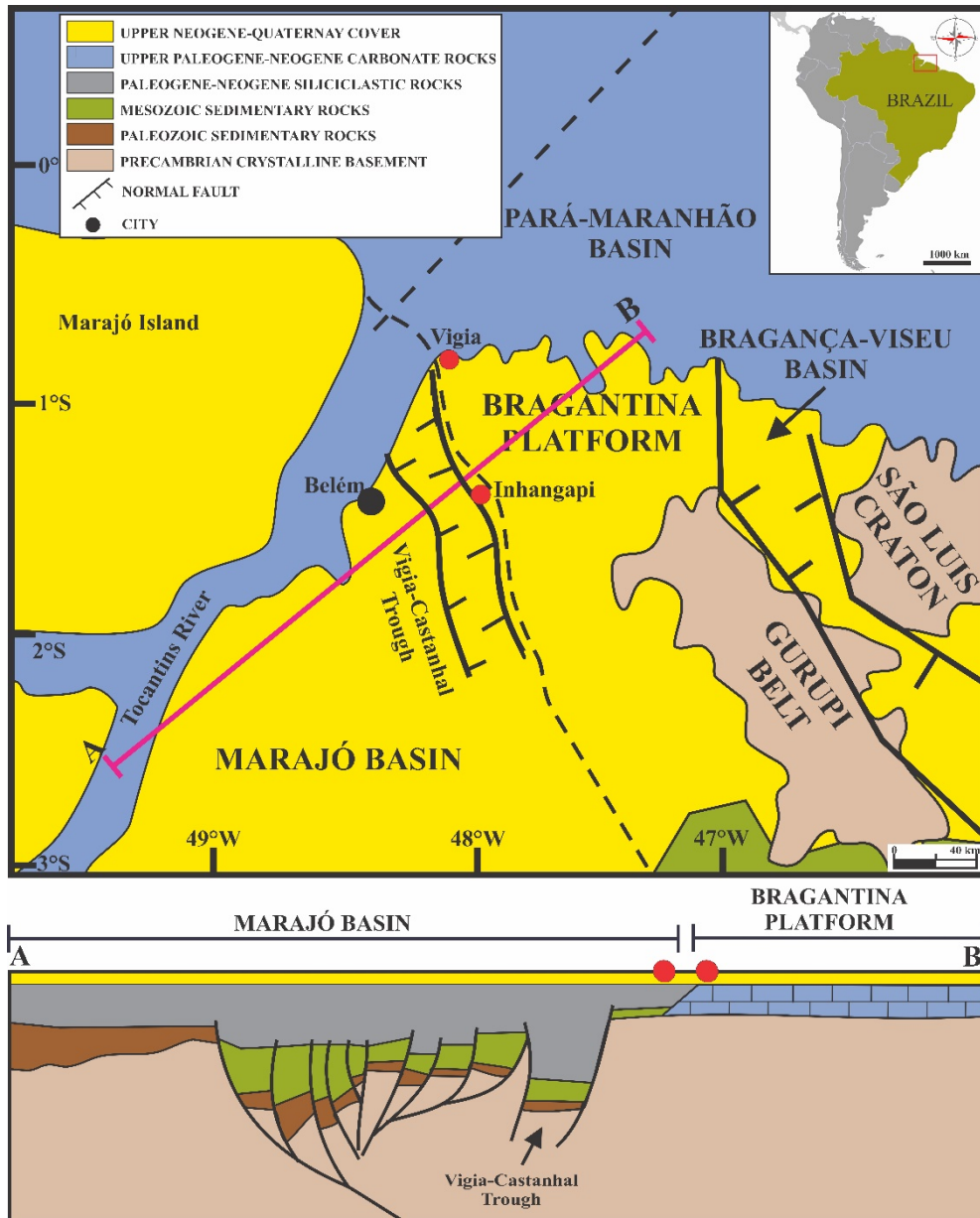


Figure 3.1. Localization of the study area and regional geology of the basins of the northeast coast of Brazil, indicating the main localities and their respective profile. Modified from: Nogueira *et al.*, 2021.

Friable samples of two borehole logs lithological profiles in the Eastern Marajó Graben and Bragantina Platform were used to microfossiliferous analysis focusing taxonomy of benthic foraminifera. These two units behave as chronocorrelates of Oligo-Miocene age by exhibiting a great similarity and diversity in the benthic hyaline microforaminifera as *Cibicides pachyderma* (Rupelian), *Cassidulina laevigata* (Eo-Oligocene), *Uvigerina peregrina* (Eocene) and *Lobulata lobulata* (Middle-Miocene); which occur in both siliciclastic and calcareous depositional environments, but these units differ lithologically because they occurred in different depositional environments.

Therefore, the relationship of the fossil assemblages with the various diversity indices characterizes the Pirabas Formation as a brackish, oxic, internal-medium neritic platform marginal marine environment with paleowater depths ranging from <20m to 200m with a dominant presence of the species *C. subhaidingerii* and *C. pachyderma*. The paleoecological conditions of the Marajó Formation allow the identification of a restricted marginal marine depositional environment (lagoons/mangroves) with paleo-depths ranging from <20m to 100m, dynamic, suboxic, variable salinity and marine incursions confirmed by the abundance of species such as *Criboelphidium williamsoni*, *Ammonia tepida* and *A. beccarii*. This procedure has revealed the base for paleoenvironmental and paleoecological interpretations and supports the previous Paleogene-Neogene stratigraphy of the Eastern Amazonia Coast.

### 3.3 GEOLOGICAL AND PALEONTOLOGICAL SETTING

The opening of the Equatorial Atlantic Ocean influenced by the Caribbean and Pacific plate movements and the different rifting stages during the Middle-Triassic, contributed to the development of the northern Brazilian sedimentary basins (Soares *et al.*, 2008). The post-rift distensive sequence triggers an increase in the accommodation space that together with fault reactivation induces the deposition of Meso-Cenozoic sediments along the Brazilian eastern Amazon coast (Rossetti & Santos, 2004; Nogueira *et al.*, 2021).

In the northeast of the state of Pará, Neogene sequences influenced by transgressive events are recorded, such as the Marajó Formation, constituted by 250 m of siliclastic sediments generated in continental, shallow marine and transitional environments, including fluvial and coastal plain deposits of the Cratonic Amazon River drainage system (Rossetti & Santos, 2004; Zalán & Matsuda, 2007; Soares *et al.*, 2008; Nogueira *et al.*, 2021). This unit represents the post-rift stage of the Marajó Basin, a graben type system, located at the confluence of the Amazon and Tocantins rivers and composed of 16.000 m of sedimentary rocks distributed in the Mexiana, Limoeiro, Cametá and Mocajuba sub-basins (Costa *et al.*, 2002; Figueiredo *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2008).

Separated from the Marajó Basin by the Vigia-Castanhil fault on the eastern margin is the Bragantina Platform, an emergent structure that remained tectonically stable during the opening of the Atlantic Ocean and the rupture of Gondwana (Almaraz, 1977; Aguilera *et al.*, 2014). During the last stage of carbonate sedimentation in transitional environments along the Amazon coast a progradational sequence was developed, integrated by the Pirabas Formation (Middle Oligo-Miocene), that recorded 140 m of fossiliferous marine carbonate rocks, and a

significant volume of siliciclastics with variable thickness, interpreted as a neritic to transitional environment including marginal lagoons, tidal flats and delta, beaches and mangroves associated with bioclastic barrier island systems influenced by several changes in sea level. Overlying these units, it is the Barreiras Formation (Late Miocene), composed of siliciclastic rocks of the deltaic fan and estuarine incised valleys with discontinuous deposition and a phase of non-deposition and subaerial erosion, which favored the formation of lateritic soil (Figure 3.1) (Brandão & Feijó 1994; Rossetti, 2001; Rossetti, 2006; Costa *et al.*, 2009; Távora *et al.*, 2010; Mascarenhas *et al.*, 2017; Nogueira *et al.*, 2021).

The increased influx of siliciclastics influencing biotic diversification in the transitional environments of this region associated with the transgressions resulted from global sea level rise, triggering a high diversity and abundance of micro and macrofossils, as well as invertebrate and vertebrate groups; this biota is characterized by a high production of benthic life (infaunal and epifaunal) typical of shallow, warm, transparent, high-energy water mass environments with good circulation and oxygenation on a platform connected to the Atlantic Ocean (Távora *et al.*, 2002; Rossetti, 2006; Costa *et al.*, 2009; Aguilera & Tavares, 2012; Aguilera *et al.*, 2014; Rossetti *et al.*, 2013; Nogueira *et al.*, 2013; Távora & Bosco, 2016; Van Soelen *et al.*, 2017; Albert *et al.*, 2018; Nogueira *et al.*, 2021; Alvim *et al.*, 2021).

Paleontological works carried out in these two units identify some hyaline benthic foraminifera as bioindicator species of transitional environments, such as the genera *Quinqueloculina*, *Ammonia* and *Elphidium* found in estuaries with marine incursions and fresh water inflow in the Eocene, as well as the presence of macroforaminifera of the family Soritidae, species such as *Amphistegina lessonii* and a higher abundance of planktonic foraminifera of the genus *Globigerinoides*, indicate a shallow platform environment of clean water (Petri, 1954, 1957; Távora & Garrafielo, 1999; Duleba *et al.*, 2018).

### 3.4 MATERIAL AND METHODS

Friable samples from two boreholes of the Groundwater Monitoring Network (RIMAS) from the Geological Brazilian Survey (CPRM) were being analyzed for micropaleontological (foraminifera) studies. The wells are located close to the Vigia-Castanhal Through, in the Inhangapi and Vigia towns (Fig. 3.1). The analyzed boreholes presented 60 samples with fossiliferous and carbonate content, from which 150 g were selected, taken at intervals of 2 in 2 m and quartered at CPRM's sample preparation laboratory.

The selected samples were treated with the usual methods for calcareous microfossils (Carvalho, 2010; Petró, 2018) in the Sedimentology laboratory of the UFPA's Geology Institute. Therefore, washed in a solution containing hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) at 130 volumes and ethyl alcohol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) at 90%, the liquid fraction removed and dried in an oven at 60°C for subsequent sieving and weighing with apertures of 500, 250, 180, 125 and 63µm.

Around (10g) per selected sample sorted under binocular magnification with the aid of brushes (n°00) in the micropaleontology laboratory of the Sedimentary Basins Analysis Group (GESED); the selected microfossils were mounted on Franke cell slides and prepared as stubs for photographs under the Scanning Electron Microscope (SEM), in the microanalysis laboratory of CPRM-Belém. For the classification of foraminifera, was used the foraminifera identification key of Moore (1964), Loeblich & Tappan (1964) and other additional specific contributions.

The micropaleontological analysis integrated multivariate data processing criteria such as Dajoz (1983) relative abundance (RA) and frequency of occurrence (FO) measurements, Clarke & Warwick (1994) richness index, Shannon (1948) diversity index (H'), Fisher et al. (1943) alpha index, thus relating the individuals of each species, their distribution and paleoenvironmental range in the different intervals. Furthermore, foraminiferal association analyses were performed using R-mode Cluster (grouping among species), determining dendograms using Morisita's (1959) similarity coefficient in PAST software (Hammer et al., 2001) to identify possible paleoecological associations.

In addition, planktonic and benthic (P/B) ratios based on Cluver's (1988) correlation for relative depth measurement were performed and paleoxygenation concentration levels were analyzed according to Kaiho (1994) useful for paleoceanographic and paleoenvironmental reconstruction. These statistical analyses were complemented with qualitative descriptions of the paleoecology of the different species identified, thus allowing the integration of the biostratigraphic correlation of the study areas.

### 3.5 RESULTS

#### 3.5.1 Taxonomy

The benthic foraminifera specimens are well preserved at both sites with a total of 24 families, 29 genera and 47 species distributed in the orders Rotallida (61,7%), Nodosariida (8,51%), Lagenida (8,51%), Discorbida (2,12%), Robertinida (2,12%), Vaginulinida (2,12%) e Miliolida (14,89%). In the nine intervals with fossiliferous content

in Marajó Formation, a total of 39 species of benthic foraminifera belonging to 27 genera were identified with the unique presence of species such as *Elphidium poeyanum*, *Lobulata lobulata* e *Bolivina antiqua*. Moreover, in Pirabas Formation, 37 species of benthic foraminifera belonging to 24 genera were identified in the thirteen intervals selected with the particular presence of the species *Cibicides pirabensis*, *Amphistegina lessonii* and *Oolina globosa*. In both locations there is a significant presence of the species *Cibicidoides subhaidingerii*, *Hanzawaia mantaensis*, *Cibicides pachyderma*, *Ammonia beccarii* and *A. tépida* but are found in different abundances (Figure 3.2).

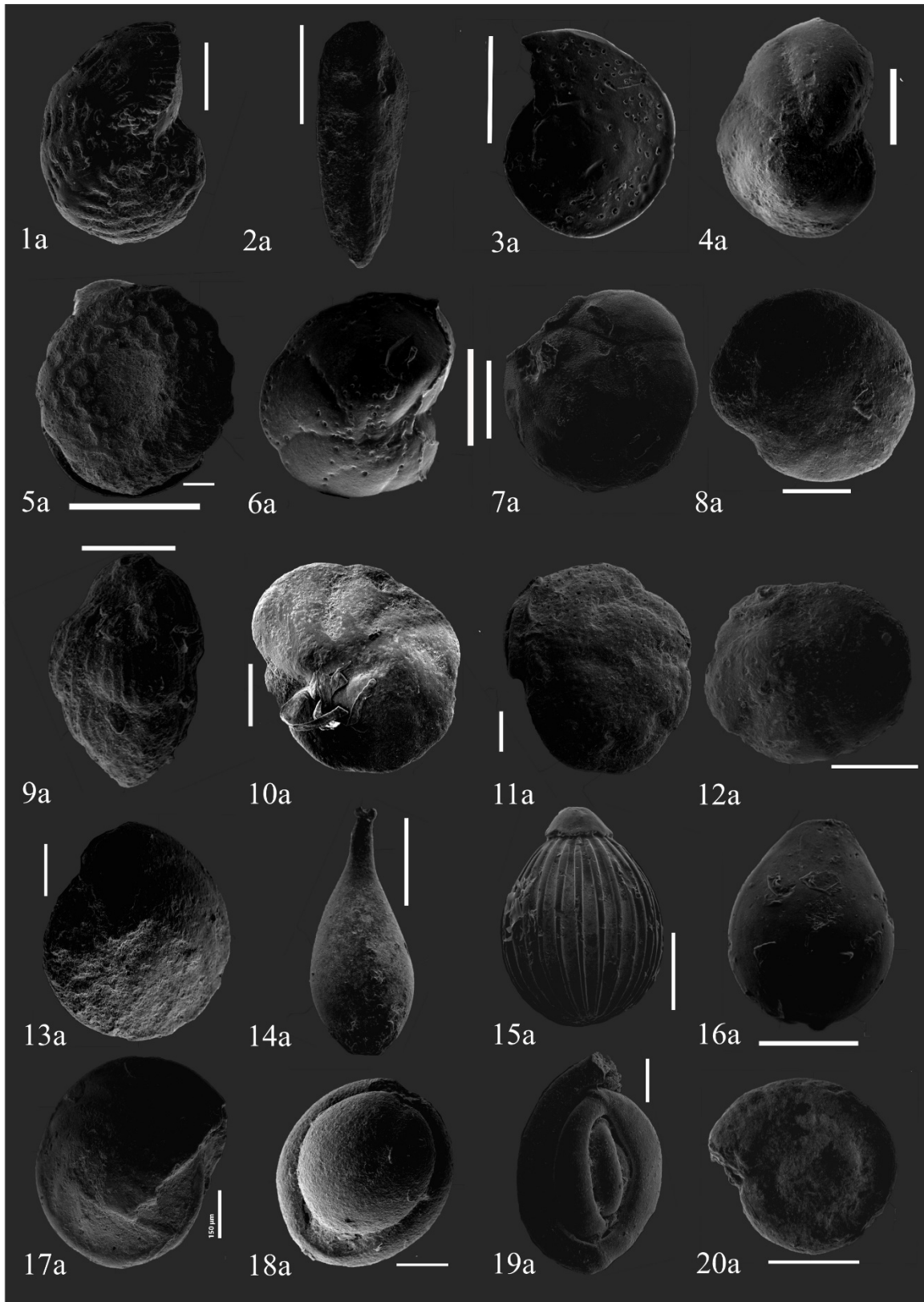


Figure 3.2.- Representative species of the main genus in the studied areas. Scale represents 100  $\mu\text{m}$ . (a) ventral view. 1a. *Criboelphidium williamsoni* Haynes; 2a. *Bolivina antiqua* d'Orbigny; 3a. *Cibicides pachyderma* Rzehak; 4a. *Cibicides pirabensis* Petri; 5a. *Lobulta lobulata* Walker & Jacob; 6a. *Cibicoides subhaidingerii* Parr; 7a. *Rosalina floridana* Cushman; 8a. *Ammonia beccarii* Linnaeus; 9a. *Uvigerina peregrina* Cushman. 10a. *Hanzawaia*

mantaensis Galloway & Morrey; 11a. *Cassidulina laevigata* d'Orbigny; 12a. *Siphonina pulchra* Cushman; 13a. *Amphistegina lessonii* var. *tumida* Petri; 14a. *Lagena laevis* Montagu; 15a. *Oolina borealis* Loeblich & Tappan; 16a. *Fissurina laevigata* Reuss; 17a. *Lenticulina rotulata* Lamarck; 18a. *Sorites orbiculus* Forsskål in Niebuhr; 19a. *Miliammina fusca* Brady; 20a. *Cornuspira planorbis* Schultze.

### 3.5.2 Multivariate analysis

According to criteria of relative abundance, the Marajó Formation presents more accidental species while the relative abundance (RA), and greater number of trace species according to the frequency of occurrence (FO). In this profile *Criboelphidium williamsoni*, is the main species (RA), but it is found as an accessory species (FO); *Cibicidoides subhaidingerii*, *Hanzawaia mantaensis* and *Ammonia beccarii* are also mains (RA) and present with a constant frequency of occurrence. Also, in Pirabas Formation, it is evident the prominence of trace species (RA) and a majority of constant species (FO), in this profile, *C. subhaidingerii*, *Cibicides pachyderma*, *H. mantaensis*, *Amphistegina lessonii*, and *Siphonina pulchra*, are mains (RA) and are found as a constant (FO) (Table 3.1). Species with stronger tests are more abundant and frequent, presenting a greater distribution; as well as those with fragile test condition could explain the higher number of accidental species (Araújo & Machado, 2008).

	Dajoz (1983) Criteria	Marajó	Pirabas
Frequency of occurrence	Constant (> 50% of the samples)	26,31	38,88
	Accessory (25% a 50% of the samples)	47,36	27,77
	Accidental (< 25% of the samples)	26,31	33,33
	Principal (> 5%)	15,78	16,66
Relative abundance	Accidental (1% e 5 %)	48,36	22,22
	Trace (< 1%).	36,84	61,11

Table 3.1- Percentage of the criteria of frequency of occurrence (FO) and relative abundance (RA) in the Marajó and Pirabas formations.

The diversity indices used are based on the abundance of species, employing the richness index, which in Marajó Formation shows the maximum value in the interval (74-76 m and 96-98 m) and in Pirabas Formation in the interval (108-110 m and 142-144 m), and keeping the other levels constant. The Alpha Fisher index allows relating intervals (74-76 m, 78-80 m) to a near-shore marine environment of normal conditions; the interval (100-102 m) to a normal marine mangrove environment; the intervals (96-98 m, 84-86 m, 92-94 m) found within a hypersaline lagoon environment and finally the intervals (88-90

m, 106-108 m, 120-122 m) to a hypersaline mangrove environment (Figure 3.3). This interpretation is confirmed by relating the Shannon index ( $H'$ ) in Murray's diagram (2006), integrating the intervals of this profile to an environment of hypersaline lagoons and marginal marine mangroves (Figure 3.4).

Accordingly, the intervals (108-110 m, 142-144 m, 152 to 162 m) of Pirabas Formation were related to a near-shore marine environment; the intervals (124-126 m, 132 to 138 m, 146-148 m) found within a normal marine lagoon environment and finally the intervals (100-102 m, 120-122 m, 138-140 m) to a hypersaline mangrove environment (Figure 3.3). This interpretation is confirmed by relating the Shannon index ( $H'$ ), in Murray's diagram (2006), integrating the intervals of this profile to a range of normal marine environment, hypersaline lagoon and marine shelf (Figure 3.4).

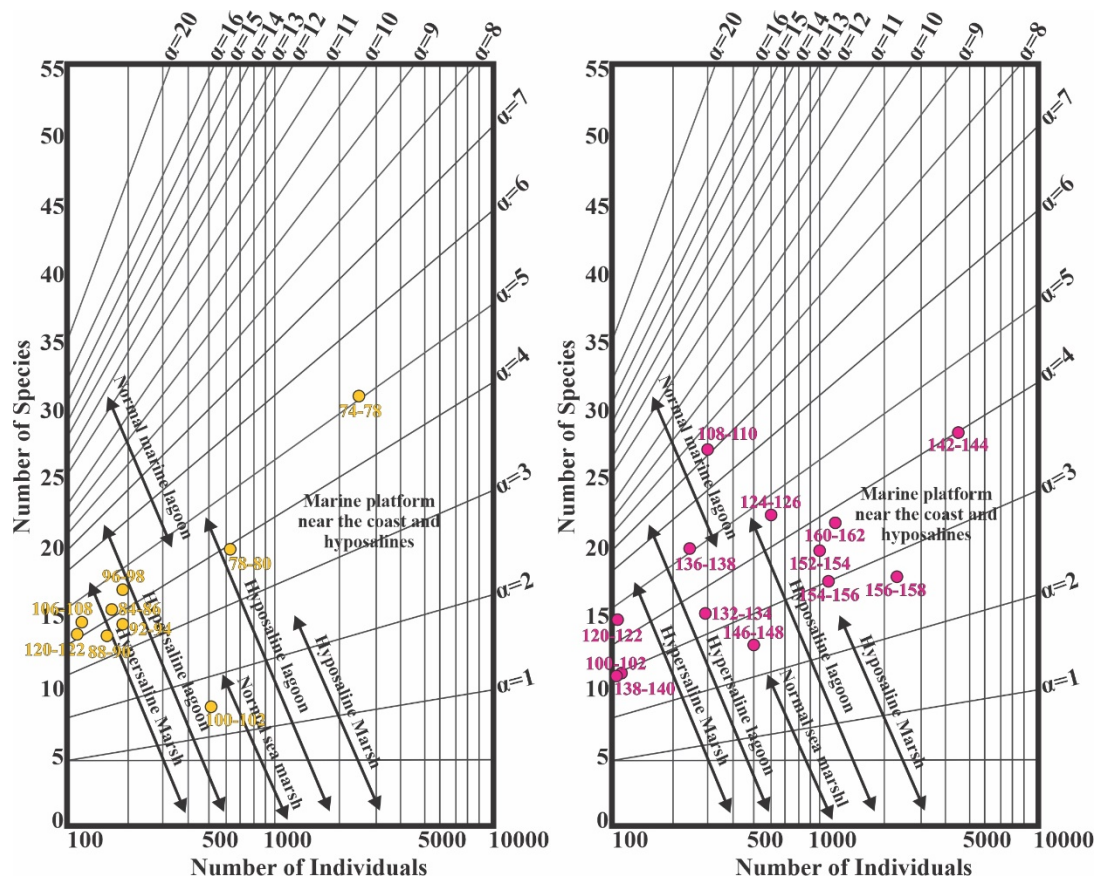


Figure 3.3- Amplitude of Alpha Fisher diversity index for foraminifera from marginal marine environments and platforms in the intervals of Marajó Formation (yellow) and Pirabas Formation (pink). Modified from: Boltovskoy and Wright, 1972.



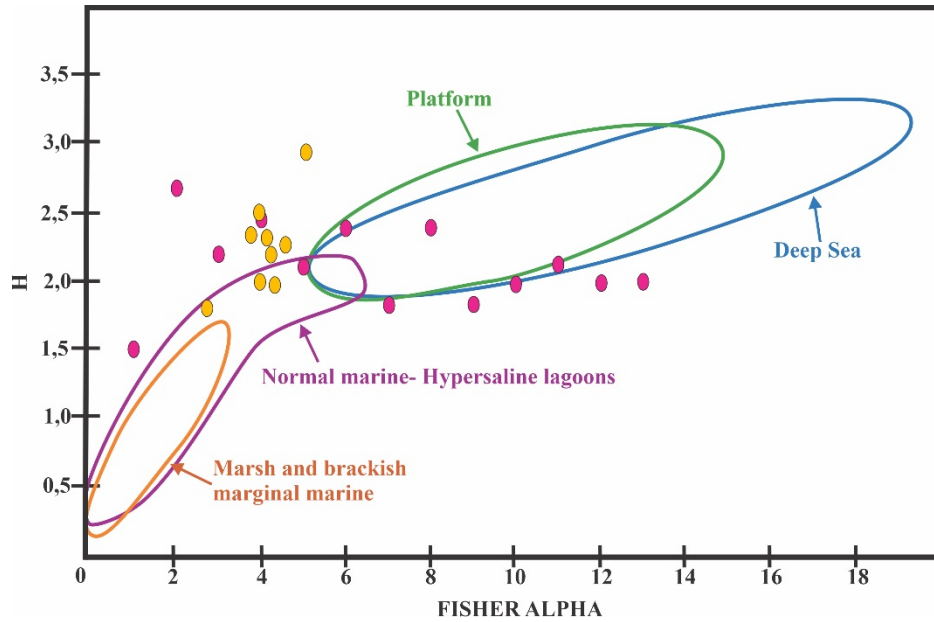


Figure 3.4- Bivariable diagram of the relationship of Shannon index (H') with Alpha Fisher index of the intervals of the Marajó Formation (yellow) and Pirabas Formation (pink). Modified from: Murray, 2006.

The mean Shannon value (H') for these units was < 3, indicating highly unstable environmental conditions (Bernasconi, 2020). According to Culver's (1988) correlation of the ratio of planktonic to benthic foraminifera (P/B) with bathymetry, paleodepths are determined; being at the Marajó Formation, the interval (120-122 m) of transitional zone with 100% benthic; the intervals (88-90 m, 96-98 m, 106-108 m) of the inner shelf with rare planktonics; the intervals (74-76 m, 78-80 m, 84-86 m, 92-94 m, 100-102 m) on the middle shelf (20 to 100 m of paleodepth) with more than 10% planktonic (Figure 3.5).

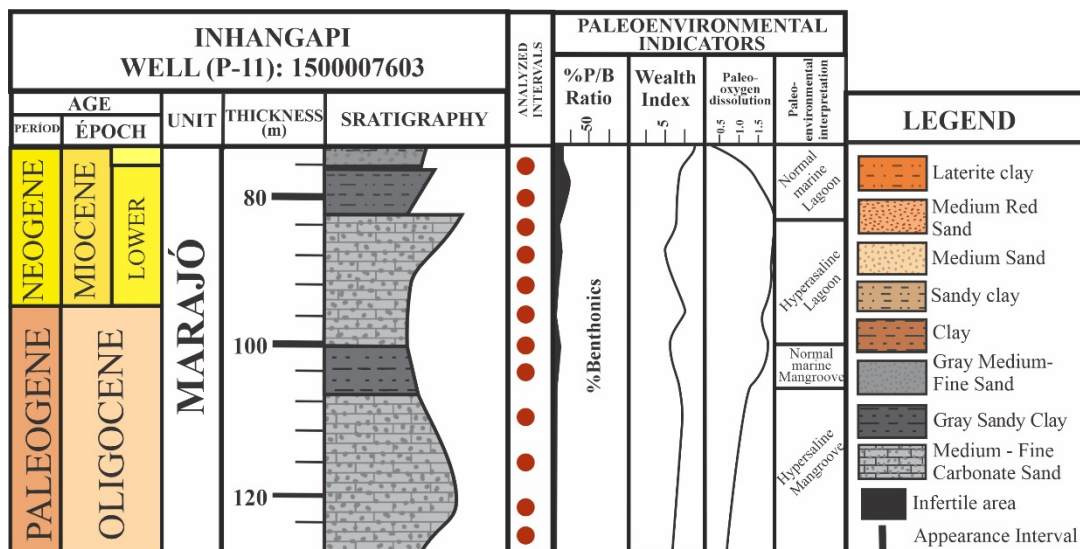


Figure 3.5- Lithostratigraphy profile of the fossiliferous levels in the Marajó Formation integrating paleoenvironmental indicators such as Planktonic/Benthic ratio (%), wealth index, paleo-oxygen dissolution and paleoenvironmental interpretation.



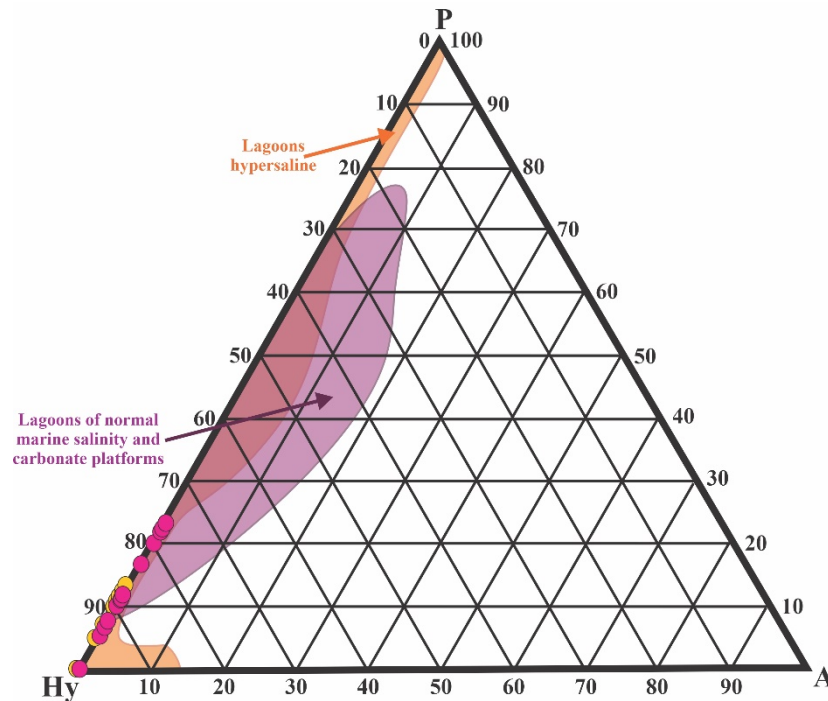


Figure 3.7- Ternary diagram for paleoenvironmental interpretation based on the tests types (Hyaline, Porcelanate, Agglutinated) of benthic foraminifera of the Marajó (yellow) and Pirabas (pink) formations. Modified from: Armstrong & Brasier, 2005.

The study of the microfauna by Cluster relation at the Marajó Formation, allowed the identification of five fossiliferous associations, mostly from transitional environments; the association (IAF1) composed of *Bolivina* species and *Lobulata lobulata* species, shows characteristics indicative of estuaries with marine incursions from waters with normal salinity like the main association (IAF2), which differs by its variable salinity and is integrated by the species *Criboelphidium williamsoni*, *Cibicoides subhaidingerii*, *Ammonia tepida* and *A. beccarii* indicatives of restricted environments (Table 3.2).

Also, the Pirabas Formation, is composed of seven fossiliferous associations characterized by the marine platform environments with salinity variations, being (VAF4) the main association, in a medium neritic platform of high energy and salinity conditions with the presence of the species *C. subhaidingerii*, *Cibicides pachyderma*, *Hanzawaia mantaensis* and *Siphonina pulchra*; finally, the association (VAF6) integrated by the species *Ammonia beccarii*, *A. tépida* and *Uvigerina alata* indicate shallower waters subject to continental drainage and variations in temperature, pH, oxygen dissolution level and salinity (Table 3.3).

ASSOCIATION	SPECIES	ENVIRONMENTS	REFERENCES
IAF1	<i>Bolivina antiqua</i> <i>Lobulata lobulata</i> <i>Bolivina tortuosa</i> <i>Bolivina inflata</i>	Estuaries with marine incursions or lagoons on inner-medium neritic platforms (100-200 m), fine-grained (muddy) sediments, normal salinity.	Batista 2015; Saraswati & Srinivasn, 2016; Duleba et al., 2018; Saraswati, 2021
IAF2	<i>Criboelphidium williamsoni</i> <i>Cibicidoides subhaidingerii</i> <i>Cassidulina laevigata</i> <i>Ammonia tépida</i> <i>Ammonia beccarii</i>	Saline lakes, typical of inner to shallow neritic environments with muddy substrates, typical of warm Atlantic waters, dynamic with marine incursions, restrict habitats with varying salinity and temperature (19-23).	Haynes 1973; Araújo & Borges, 2010; Saraswati & Srinivasn, 2016; Duleba et al., 2018; Schmidth & Schönfeld, 2021
IAF3	<i>Hoeglundina elegans</i> <i>Sorites orbiculus</i>	Warm-water tropical mid-outer shelf, some intertidal areas of the lagoon with input of coarse carbonate-related sediments.	Petri 1952; Araújo & Borges, 2010; Saraswati & Srinivasn, 2016; Al-Dubai et al., 2018 Saraswati, 2021
IAF4	<i>Lenticulina rotulata</i> <i>Buccella peruviana</i>	Infralitoral, typical of a lagonal (intertidal) entrance channel or mangrove environment in tropical and subtropical regions; with muddy substrates.	Murray 1991; Horton 1999; Eichler 2004; Saraswati & Srinivasn, 2016; Bernasconi et al. 2018
IAF5	<i>Hanzawaia mantaensis</i> <i>Cibicides pachyderma</i>	Mid to outer neritic platform, high energy, hard substrates, typical of environments with marine incursions.	Murray 1991; 2006; Araújo e Borges, 2010; Saraswati & Srinivasn, 2016; Saraswati 2021

Table 3.2- Association of benthic foraminifera in the Marajó Formation.

ASSOCIATION	SPECIES	ENVIRONMENTS	REFERENCES
VAF1	<i>Lenticulina rotulata</i> <i>Hoeglundina elegans</i>	Mid to outer neritic (platform above OMZ boundary), with muddy substrate.	Saraswati & Srinivasn, 2016; Saraswati, 2021
VAF2	<i>Cibicides pirabensis</i> <i>Cibroelphidium williamson</i>	Inner and middle neritic (above 100m), hard substrate, warm water, restricted shallower water body habitats (estuarine) and dynamic with salinity and temperature promedium of 19-23°.	Haynes 1973; Murray 2006; Araújo & Borges, 2010; Saraswati & Srinivasn, 2016; Schmidth & Schönfeld, 2021
VAF3	<i>Heterolepta praecineta</i> <i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	Inner to medium neritic, hypersaline characteristic of high-energy shallow platform environments.	Araújo & Borges, 2010; Saraswati & Srinivasn, 2016; Saraswati, 2021
VAF4	<i>Cibicidoides subhaidingerii</i> <i>Cibicides pachyderma</i> <i>Hanzawaia mantaensis</i> <i>Siphonina pulchra</i> <i>Cibroelphidium excavatum</i>	Medium to outer neritic platform, high energy, hard substrate (sands), with high salinity conditions, in more restricted marginal marine environments.	Hayward et al., 1996; Murray 2006; Araújo & Borges, 2010; Holbourn et Al., 2013; Saraswati & Srinivasn, 2016
VAF5	<i>Amphistegina lessonii</i> <i>Bolivina compacta</i> <i>Sorites orbiculus</i>	Shallow tropical shelf, internal-medium neritic, with normal salinity, fine-grained sediments, depths up to 120 m and 14°C temperature. Some intertidal areas with coarse sediment contributions related to carbonates	Araújo & Borges, 2010; Batista 2015; Saraswati, 2021
VAF6	<i>Ammonia beccarii</i> <i>Ammonia tépida</i> <i>Uvigerina alata</i>	Inner to middle neritic, wide salinity range, shallower brackish waters in coastal marine regions subject to continental drainage and variations in salinity, temperature, pH, oxygen level.	Murray 2006; Saraswati & Srinivasn, 2016; Saraswati, 2021
VAF7	<i>Bolivina ordinaria</i> <i>Cibicides wuellerstrofi</i>	Low-energy mid platform with a mixture of sand, clay and silt sediments.	Mendes et al. 2004; Murray 2006; Venturelli et al., 2018

Table 3.3- Association of benthic foraminifera in the Pirabas Formation.

### 3.5.2 Qualitative Analysis

Several warming, migration and origination events have been recorded globally during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM), reflected in a drop in dissolved oxygen levels, acidification and other factors responsible for the cosmopolitan character of benthic foraminifera, the increase in diversity, dimorphism and the reduction in size of the tests of individuals (Speijer *et al.*, 2012; Saraswati, 2021). Abiotic factors such as temperature, water salinity, dissolved oxygen and nature of the bottom are determining factors in changes in spatial distribution of benthic foraminifera from open sea basins (Murray, 2006; Araújo & Machado, 2008).

Hyaline calcareous foraminifera such as *Ammonia tepida* and *Elphidium poeyanum* dominate in highly marine-influenced environments with normal conditions as well as *A. beccarii*, *E. excavatum* and *E. williamsoni* are indicators of waters with variable salinity and pH, suboxic, paleo-dissolution level in restricted environments such as brackish lagoons and estuaries, supporting a wide salinity range (Schmidth & Schönfeld, 2021). The presence of macroforaminifera of the genus *Amphistegina* and millionid microforaminifera such as *Quinqueloculina* suggest transitional environments to high-energy coastal marine, estuaries influenced by marine incursions, freshwater input genetically related to tidal delta, estuarine bay/lagoon, tidal plain and mangrove as in the Marajó Formation (Petri, 1954; Kailho, 1994; Murray, 2006; Duleba *et al.*, 2018; Petró, 2018; Saraswati, 2021). Hypersaline environments (lagoons and mangroves), present considerable physical, chemical and biological variations, being subject to aspects such as seasonality, tide, climate, etc. These conditions reflect in the presence of the genera *Rosalina*, *Ammonia*, *Cibicides*, *Quinqueloculina* e *Elphidium* (Ghosh *et al.*, 2009, 2014) and the lower index of planktonic forms and the abundance of the species (Murray 2006; Araújo & Machado, 2008) (Figs. 3.5 and 3.8).

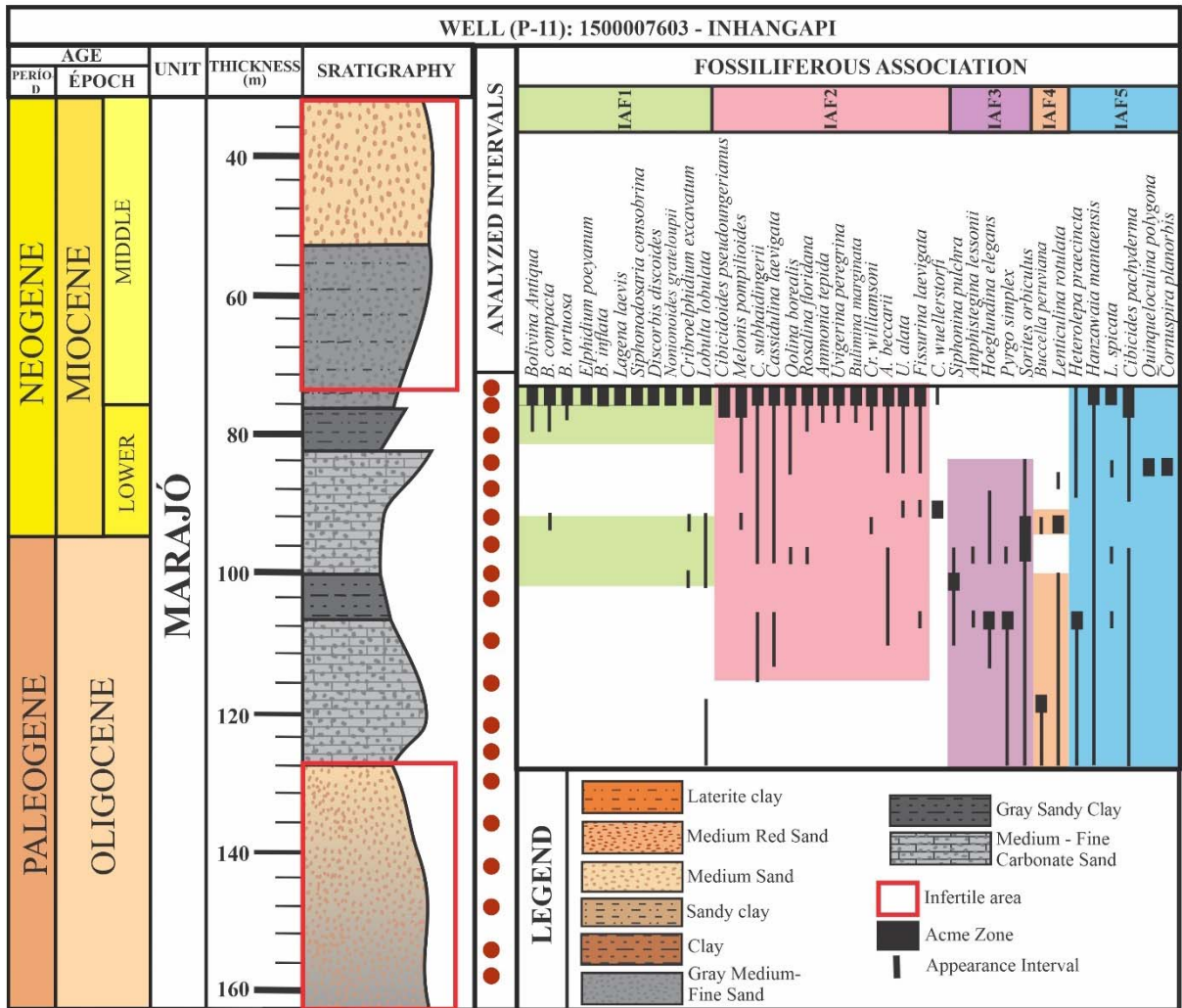


Figure 3.8- Biostratigraphy profile of the Marajó Formation integrating lithostratigraphy and fossiliferous associations.

In the Pirabas Formation the abundance of the macroforaminifera (Soritidae), and shallow water microforaminifera such as *Q. lamarckiana* and *Siphonina pulchra* have been recorded (Petri, 1957; Távora & Garraferlo, 1999), biotic typical of inner shelf, characterized by a high primary benthic richness (Aguilera *et al.*, 2014). The brackish marginal marine environments show a low diversity foraminiferal assemblage, a paleo-dissolution level of oxygen with oxic indicator individuals, and continuous changes in environmental parameters, reflected by the presence of the species *Cibicides pachyderma* and *C. wuellerstorfi* (Kailho, 1994; Murray, 2006; Mascarenhas *et al.*, 2017; Saraswati, 2021). Normal marine environments on the coast and away from the basin edge show morphological changes in relation to water depth and decreasing light, with species that indicate a depth increase such as *Lenticulina* sp., *Cibicides lobatus*, *Cassidulina laevigata*, *Hoeglundina elegans*, *Cibicides pseudoungerianus*, and *Uvigerina peregrina* (Murray, 2006) (Figs. 3.6 and 3.9).

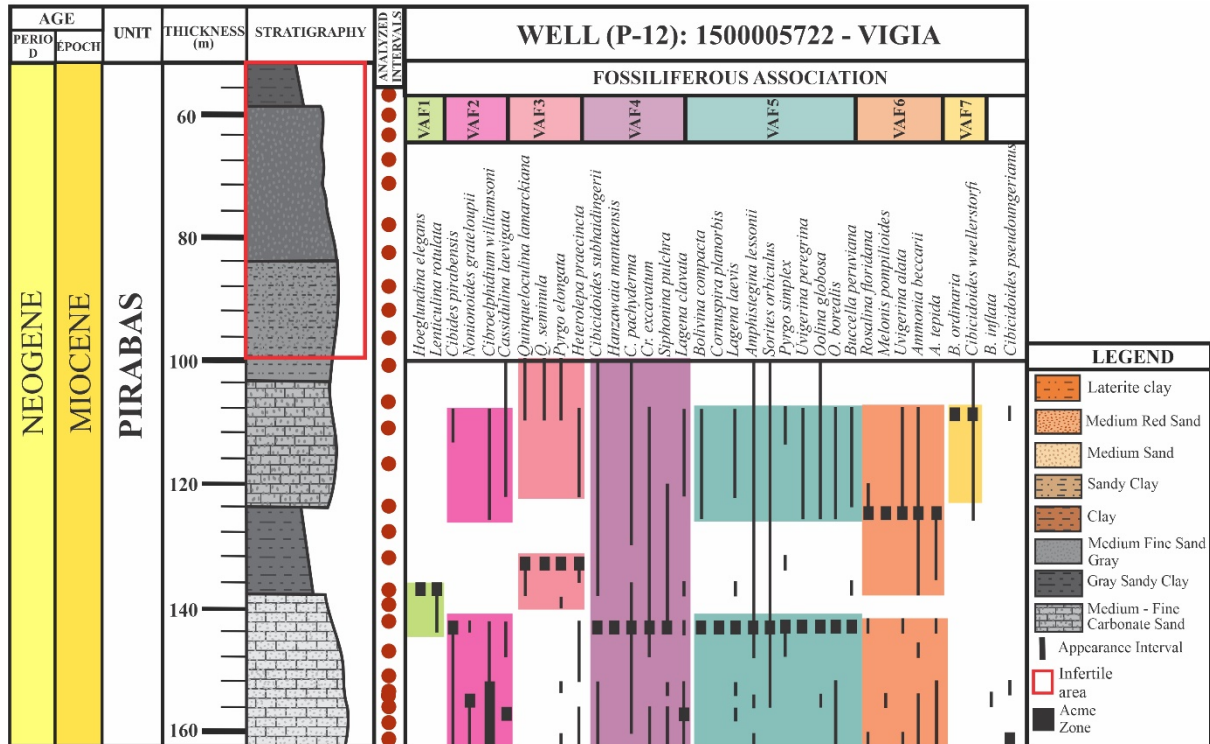


Figure 3.9- Biostratigraphic profile of the Pirabas Formation integrating lithostratigraphy and fossiliferous associations.

### 3.6 CONCLUSIONS

The Marajó Formation is interpreted as a restricted marginal marine environment (lagoons/mangroves), dynamic, suboxic, variable salinity and marine incursions confirmed by the abundance of the species as *Cibiroelphidium williamsoni*, *Ammonia tepida* and *A. beccarii* representative of the association (IAF2), and the species *Hanzawaia mantaensis* and *Cibicides pachyderma* in the association (IAF5). Thus, the ratio between planktonic and benthic foraminifera (P/B) evidencing transitional zone bathymetries (lagoon) with low planktonic diversity and high presence of benthic foraminifera (Figure 3.10).

At the Pirabas Formation was deposited in a brackish, oxic, inner, middle to outer neritic platform marginal marine environment with the dominant presence of the species *C. subhaidingerii* and *C. pachyderma* species in the association (VAF4). This environment presents variations in sea level evidenced by the species: *A. beccarii* present in the association (VAF6) typical of a normal marine lagoon environment and *Cassidulina laevigata* present in the association (VAF2), indicative of deeper sea levels, confirmed by the ratio between planktonic and benthic foraminifera (P/B) which shows the bathymetry of the inner-middle shelf zone with high planktonic diversity.



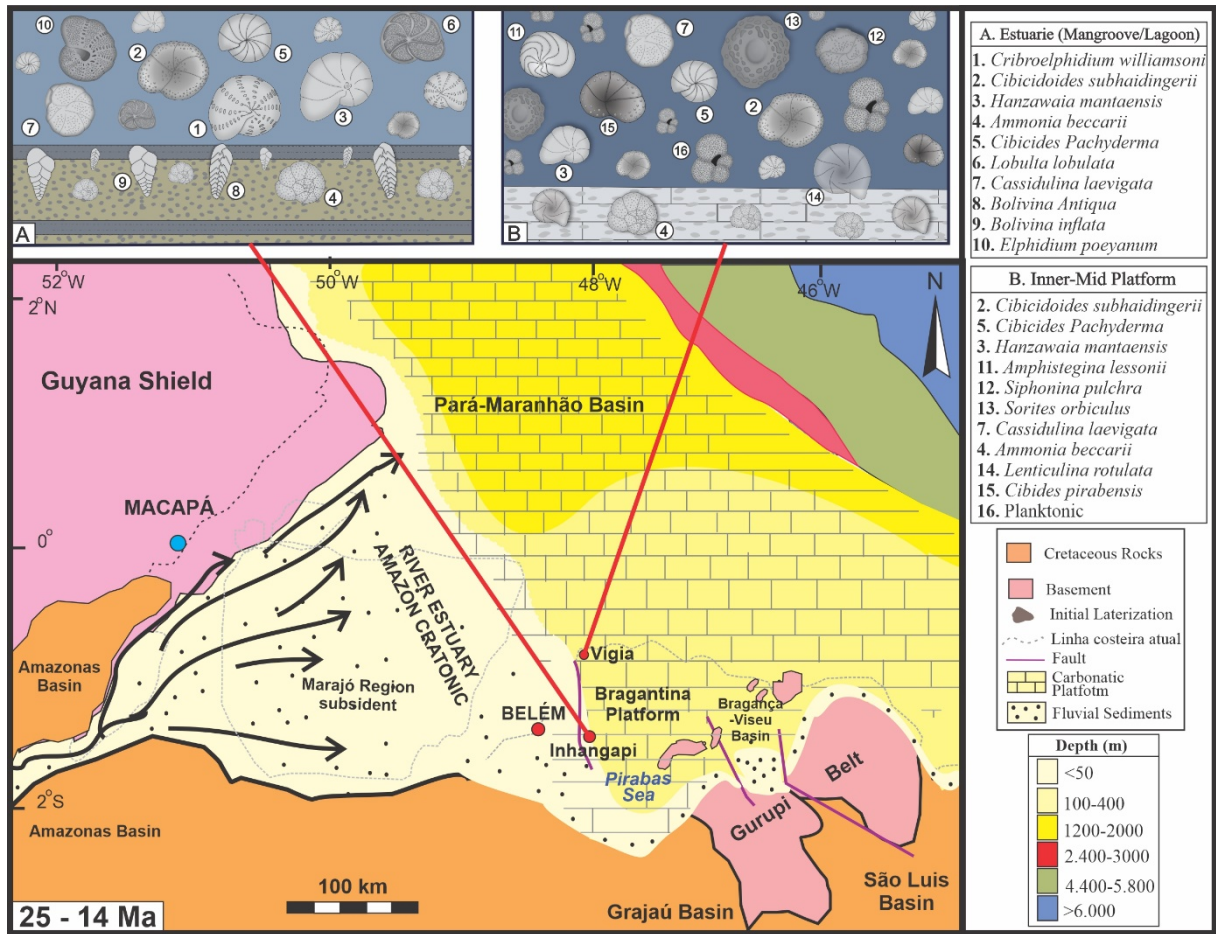


Figure 3.10- Sedimentological and paleoenvironmental reconstruction model of the study area.

As previously discussed in other papers is confirmed the difference between the lithostratigraphy and depositional environments of these two units, being the Marajó Basin influenced by the continuous terrigenous influx, while the Bragantina Platform presents a predominance of carbonate sedimentation; but have a similarity in faunal diversity and behave as chronocorrelates, delimiting the Oligo-Miocene age Marajó Formation, by the presence of species *C. pachyderma* (Rupelian), *C. laevigata* (Eo-Oligocene), *Uvigerina peregrina* (Eocene) and *Lobulata lobulata* (Middle Miocene); and the Pirabas Formation with a middle Miocene age delimited by the appearance of the *Elphidium poeyanum*, *Cibicides pirabensis* (endemic to the Pirabas unit), *H. mantaensis* and *L. lobulata*.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Federal University of Pará (UFPA) and by the CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). We thank the Research group of sedimentary basin analysis (GSED) and to the CPRM-BELÉM for the samples provided for this work and for the use of the sample preparation and SEM labs.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação dos foraminíferos bentônicos associada a estas duas localidades, corrobora que a Formação Marajó e a Formação Pirabas possuem uma similaridade na diversidade faunística apesar de apresentarem características litoestratigráficas e deposicionais diferentes, e se comportam como cronocorrelatas, delimitando a idade da Formação Marajó como Oligo-Miocênica, pela presença das espécies *Cibicides pachyderma* (Rupelian), *Cassidulina laevigata* (Eo-Oligoceno), *Uvigerina peregrina* (Eoceno) e *Lobulata lobulata* (Mioceno Médio); e a Formação Pirabas com idade Mioceno Médio delimitada pelo aparecimento das espécies *Elphidium poeyanum*, *Cibicides pirabensis* (endêmica da unidade Pirabas), *Hanzawaia mantaensis* e *L. lobulata*.

A relação das assembleias fossilíferas com os diversos índices de diversidade caracteriza a Formação Pirabas na localidade de Vigia como um ambiente marinho marginal salobro, óxico, de plataforma nerítica média a externa com paleoprofundidades variando de <20m a 200m com presença dominante das espécies *C. subhaidingerii* e *C. pachyderma* principais na associação (VAF4). Este ambiente apresenta variações no nível do mar evidenciado pelas espécies *A. beccarii* presente na associação (VAF6) própria de um ambiente de laguna marinha normal e *Cassidulina laevigata* presente na associação (VAF2), indicadora de níveis marinhos mais profundos.

As condições paleoecológicas da Formação Marajó na localidade de Inhangapi, permitem identificar um ambiente deposicional marinho marginal restrito (lagunas/mangues) com paleoprofundidades variando de <20m a 100m, dinâmico, subóxico, de alta energia, salinidade variável e incursões marinhas confirmadas pela abundância das espécies como *Criboelphidium williamsoni*, *Ammonia tepida* e *A. beccarii* representativas da associação (IAF2), e as espécies *Hanzawaia mantaensis* e *Cibicides pachyderma* na associação (IAF5).

A semelhança na diversidade faunística indicou que estas unidades siliciclásticas e carbonáticas representadas pelas formações Marajó e Pirabas evidenciam ambientes transicionais. Estas assembléias de foraminíferos bentônicos confirmam interpretações estratigráficas e paleoambientais anteriores, fornecem novos dados bioestratigráficos para entender a evolução do Paleógeno-Neogêneo tardio da costa leste da Amazônia.

## REFERÊNCIAS

[Aguilera, O., Tavares Pães, E., 2012. The Pirabas Formation \(early Miocene from Brazil\) and the tropical western central Atlantic subprovince. \*Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi\*. 7, 29-45.](#)

Aguilera, O., Schwarzans, W., Moraes-Santos, H., Nepomuceno, A., 2014. Before the flood: Miocene otoliths from eastern Amazon Pirabas Formation reveal a Caribbean-type fish fauna. *Journal of South American Earth Sciences* 56, 422-446. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.021>

Albert, J.S., Val, P., Hoorn, C., 2018. The changing course of the Amazon River in the Neogene: center stage for Neotropical diversification. *Neotropical Ichthyol.* 16 (3) <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20180033>

[Almaraz, J.S.U., 1977. Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, Estado do Para. In: Universidade Federal do Rio Grande do Sul \(Ph.D. dissertation, 198p\)](#)

Alvim, A.M.V., Santos, R.V., Roddaz, M., Antoine, P.-O., Ramos, M.I.F., Carmo A., D, Linhares, A.P., Negri, F.R., 2021. Fossil isotopic constraints (C, O and 87Sr/86Sr) on Miocene shallow-marine incursions in Amazonia. *Palaeogeograp. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 573, 110422 <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110422>

Armstrong, H.A., Brasier, M.D. 2005. *Microfossils*. Blackwell. Publishing, Oxford, 296 p. <https://doi.org/10.1002/jqs.967>

Araújo, T. M. F., & Machado, A. D. J., 2008. Análise Sedimentar e Micropaleontológica (Foraminíferos) de Seções Quaternárias do Talude Continental Superior do Norte da Bahia, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 35(2), 97-113. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17941>

Barbosa, V.P. 2010. Foraminíferos bentônicos como indicadores bioestratigráficos no quaternário superior da Bacia de Campos. *Rev. bras. paleontol.* 13(2):129-142. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2010.2.06>

Bernasconi, E., 2020. Ecological study based on the distribution of the recent foraminifers from southeast of Buenos Aires province, Argentinean Continental Shelf. *Zootaxa* 4821 (1): 135–147. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4821.1.7>

Boltovskoy, E. and Wright, R. (1976) *Recent Foraminifera*. Junk, The Hague, 515 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-2860-7>

Boltovskoy, E.; Boltovskoy, D.; Correa, N.; Brandini, F., 1996. Planktic foraminifera from the Sopathwestern Atlantic (30° - 60°S): species-specific patterns in the upper 50 m. *Marine Micropaleontology*, 28: 53-72. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0377-8398(95)00076-3)

[Brandão, J.A.S.L., Feijó, F.J., 1994, Bacia do Foz do Amazonas. \*Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro\*. 8, 91–100.](#)

[Carvalho I. S. 2010. \*Paleontologia\*. Rio de Janeiro, Interciência, 1\(2\).](#)

Costa, J.B.S., Hasui, Y., Bemerguy, R.L., Soares-Júnior, A.V., Villegas, J.M.C., 2002. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 74, 519–531. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652002000300013>

Costa, S.A.R.F., Richter, M., Mann de Toledo, P., de Santos, H.M.M., 2009. Shark teeth from Pirabas Formation (Lower Miocene), northeastern Amazonia, Brazil. *Boletim do Museu Paraense*

*Emílio Goeldi Ciências Naturais Belém* 4, 221–230. <http://dx.doi.org/10.5123/S1981-81142009000300001>

[Duleba, W., Góes, A.M., Alves, M.V.M., 2018. Foraminíferos Oligo-Miocenos da margem Equatorial Brasileira. Setembrino Petri: do Proterozoico ao Holoceno.: cap. 16, p. 321-343.](#)

[Figueiredo, J., Zalan, P., Soares, E., 2007. Bacia da Foz do Amazonas. \*Boletim de Geociências da Petrobras\*. 15, 299–309.](#)

Galvão, M.V.G., 2004. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia de Marajó. Fundação Paleontológica Phoenix. Série Bacias Sedimentares, ano 6, n. 67.

Góes, A. M., Rossetti, D. F., Nogueira, A. C. R., Toledo, P. M., 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* (Série Ciências da Terra), v. 2, p. 3-15.

Ghosh, A., Saha, S., Saraswati, P.K., Banerjee, S., Burley, S., 2009. Intertidal foraminifera in the macro-tidal estuaries of the Gulf of Cambay: implications for interpreting sea-level change in palaeo-estuaries. *Mar. Pet. Geol.* 26, 1592-1599. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.08.002>

Ghosh, A., Biswas, S., Barman, P., 2014. Marsh foraminiferal assemblages in relation to vegetation in Sunderban, India. *J. Geol. Soc. India* 84, 657-667. <https://doi.org/10.1007/s12594-014-0176-1>

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, art. 4, p. 9. [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)

Jorissen, F. J., 1999. Benthic foraminiferal microhabitats below the sediment-water interface in: SEN GUPTA B. K. Modern foraminifera. Kluwer Academic Publishers, 161-179, cap. 10, p. 161-179. [https://doi.org/10.1007/0-306-48104-9\\_10](https://doi.org/10.1007/0-306-48104-9_10)

Kaiho K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology* 22, 719–722. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022%3C0719:BFDOIA%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022%3C0719:BFDOIA%3E2.3.CO;2)

[Loeblich A.R., Tappan H. 1992. Present status of foraminiferal classification, in: \*Studies in Benthic Foraminifera\* \(eds Y. Takayanagi and T. Saito\), \*Proceedings of the Fourth International Symposium on Benthic Foraminifera, Sendai, 1990\* \(Benthos 90\). Tokai University Press, Tokyo, Japan, p. 93-102.](#)

Mascarenhas, G. B. C., Santos, D. C., Piovesan, E. K., Machado, A. J., 2017. Foraminíferos e Ostracodes do Cretáceo Superior: análise taxonômica, paleobiogeográfica e paleoecológica. Formação Algodões, Bacia de Camamu, Bahia. *Rev. bras. paleontol.* 20(1):45-62. DOI:[10.4072/rbp.2017.1.04](https://doi.org/10.4072/rbp.2017.1.04)

Martínez, S; Ramos, M.I.F., McArthur, J.M., Del Río, C.J., Thirlwall, M.F., 2017. Late Burdigalian (Miocene) age for pectinids (Mollusca-Bivalvia) from the Pirabas Formation (northern Brazil) derived from Sr-isotope ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) data. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 284 (1) pp. 57-64. <http://doi.org/10.1127/njgpa/2017/0650>

Moizinho G., Vieira L, Santos R., Nogueira A., Dantas E., 2022. Provenance of Miocene-Pleistocene siliciclastic deposits in the Eastern Amazonia coast (Brazil) and paleogeographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 110799, 587. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110799>

[Moore, R., Pitrat, C., 1961. \(Ed.\) \*Treatise on Invertebrate Paleontology. Part Q. Ostracoda. The Geological Society of America & University of Kansas Press\*, p. 422.](#)

Morkhoven, F. V., 1963. Post Paleozoic Ostracoda. Tomos 1 y 2. Elsevier. Holanda.

Murray, J. 2006. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. 1ª ed. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press, 426 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535529>

Nogueira, A.C.R., Silveira, R., Guimarães, J.T.F., 2013. Neogene-Quaternary sedimentary and paleovegetation history of the eastern Solimões Basin, central Amazon region. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 46, p. 89-99. *Earth Sciences* 65, 101–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.007>

Nogueira, A.A.E., Nogueira, A.C.R., 2017. Ostracods biostratigraphy of the Oligocene-Miocene carbonate platform in the northeastern Amazonia coast and its correlation with the Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences* 80, 389–403. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.10.006>

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 Júnior, 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. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 563, 110178. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.110178>

Petri, S., 1954. Foraminíferos fósseis da Bacia do Marajó. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 176, p. 1-171. <https://doi.org/10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1954.128537>

Petri, S., 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, São Paulo 216, 1–79. <https://doi.org/10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1957.121843>

[Petró, S.M., 2018. Introdução ao estudo dos foraminíferos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto De Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018. \[53 f.\] il. ISBN: 978-85-61424-70-1](https://doi.org/10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1957.121843)

Ramalho, L.V., Távora, V.A., Zagorsek, K. 2017. New records of the bryozoan *Metrarabdotos* from the Pirabas Formation (Lower Miocene), Pará State, Brazil. *Palaeontologia Electronica* 20.2.32A: 1-11. <http://dx.doi.org/10.26879/704>

Rossetti, D.F., 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, within the context of sea level changes. *Journal of South America Earth Sciences*, 14:77-89. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00008-6)

Rossetti, D. F., Santos, A.E., 2004. Facies architecture in a tectonically influenced estuarine incised valley fill of Miocene age, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 17: 267–284. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.08.003>

Rossetti, D.F., 2006. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Rev. do Inst. Geociências, USP* 6 (2), 7–18. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300003>

Rossetti, D.F., Bezerra, F.H., Dominguez, J.M.L., 2013. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews*, 123, 87–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.005>

Samir, A. M. & El-Din, A.B., 2001. Benthic foraminiferal assemblages and morphological anomalies as pollution proxies in two Egyptian bays. *Mar. Micropaleontol.* 41:193-227. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(00\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(00)00061-X)

Shephard, G.E., Müller, R.D., Liu, L., Gurnis, M., 2010. Miocene Drainage 983 Reversal of the Amazon River Driven by Plate–Mantle Interaction. *Nature Geoscience* 3, 870–75. <http://dx.doi.org/10.1038/NGEO1017>

Schmidt, S. and Schönfeld, J. (2021) Living and dead foraminiferal assemblage from the supratidal sand Japsand, North Frisian Wadden Sea: distributional patterns and controlling factors. *Open Access Helgoland Marine Research*, 75. Art.Nr. 6. DOI [10.1186/s10152-021-00551-2](https://doi.org/10.1186/s10152-021-00551-2).

[Saraswati, P. \(2021\). Foraminiferal micropaleontology for understanding Earth’s history. \*J Earth Syst Sci\* 130, 225. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01137-0>](https://doi.org/10.1016/C2020-0-01137-0)

[Soares, J., Costa, J.B.S., Hasui, Y., 2008. Evolução da margem Atlântica Equatorial do Brasil: Três fases distensivas. São Paulo, UNESP, \*Geociências\*, v. 27, n. 4, p. 427-437.](https://doi.org/10.1186/s10152-021-00551-2)

[Speijer, R.P., Scheibner, C., Stassen, P., Morsi, A.-M.M., 2012. Response of marine ecosystems to deep-time global warming: a synthesis of biotic patterns across the Paleocene–Eocene thermal maximum \(PETM\). \*Austrian J. Earth Sci.\* 150 \(1\), 6–12.](https://doi.org/10.1186/s10152-021-00551-2)

Távora, V.A., Garrafielo, J.M.F., 1999. Estudio de los foraminíferos de la formación Pirabas (Mioceno Inferior), estado de Pará, Brasil y su correlación con faunas del Caribe. *Revista Geológica de América Central*, 22: 63-74. <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i22.8587>

[Távora, V.A., Frenandes, A. C. S., Ferreira, C. S., 2002. Ilha de Fortaleza, PA. Expressivo registro de fósseis do Cenozóico marinho do Brasil. \*Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil\*.](https://doi.org/10.1186/s10152-021-00551-2)

Távora, V.A., Paixão, G.M.C., Silva, F.A. 2010. Considerações filogenéticas e biogeografia histórica dos malacostráceos (decápodes e isópodes) cenozóicos do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(1): 47-58. <https://doi.org/10.5327/RBG.V40I1.1502>

Távora, V.A., Alvares, I.N.N., Madeiros, L.M., 2013. Geologia e paleontologia do biohermito da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). *Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo*, v. 13, n. 3, p. 2-40.

Távora, V.A., Bosco, S.R., 2016. Paleoinvertebrados e Paleoambientes da Formação Pirabas (Mioceno inferior) em Aricuru, Município de Maracanã, Estado do Pará, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. Vol. 38 - 1 / 2015 p. 31-39. [http://dx.doi.org/10.11137/2015\\_1\\_31\\_39](http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_31_39)

van Soelen, E.E., Kim, J.-H., Santos, R.V., Dantas, E.L., Vasconcelos de Almeida, F., Pires, J.P., Roddaz, M., Sinninghe Damst’e, J.S., 2017. A 30 Ma history of the Amazon River inferred from terrigenous sediments and organic matter on the Ceará rise. *Earth Planet. Sci. Lett.* 474, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.06.025>

[Zalán, P., Matsuda, N., 2007. Marajó Basin. \*Boletim de Geociências - Petrobras\* · May 2007.](https://doi.org/10.1186/s10152-021-00551-2)

**APÉNDICIE A: SYSTEMATIC OF BENTHIC FORAMINIFERA MARAJÓ AND  
PIRABAS FORMATIONS**

**Class:** Globothalamea (Pawłowski, Holzmann & Tyszka, 2013)

**Order:** Rotaliida (Delage & Hérouard, 1896)

**Family:** Elphidiidae (Galloway, 1933)

**Genus:** *Criboelphidium* (Cushman & Brönnimann, 1948)

***Criboelphidium williamsoni* (Haynes, 1973)**

Plate 1, P-12 (figure 1a, 1b, 1c); P-11 (figure 2a, 2b, 2c).

*Elphidium williamsoni*. Haynes, 1973, p. 207-209, Pl. 24, fig. 7, Pl. 25, figs. 6, 9, Pl. 27, figs. 1-3.

**Material:** P-11 (452); P-12 (48)

**Remarks:** Test slightly longer than wide, less compressed than described by Haynes, 1973. Periphery rounded as described by Schmidh & Schönfeld, 2021.

**Dimensions:** 270 µm (length) x 210 µm (height).

**Age:** Neogene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 96-98) P-12 ranges (108-110, 124-126, 142-144, 146-148, 152-154, 154-156, 160-162).

**Distribution:** Arctic of Siberia, Greenland, and off the coast of Norway (Haynes, 1973).

***Criboelphidium excavatum* (Terquem, 1875)**

Plate 1, P-12 (figure 3a, 3b, 3c); P-11 (figure 4a, 4b).

*Criboelphidium excavatum*. Terquem, O. (1875). page(s): p. 20, pl. 2, figs. 2a, b.

**Material:** P-11 (74); P-12 (98)

**Remarks:** Tests heavily weathered with rounded and slightly lobed peripheral margin, more compressed as described by Terquem, 1875 and Haynes, 1973.

**Dimensions:** 270 µm (length) x 210 µm (height).

**Age:** Neogene (?) - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 96-98) P-12 ranges (124-126, 136-138, 138-140, 142-144, 146-148, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Atlantic coast of France, Belgium and about the British Isles (Haynes, 1973).

**Genus:** *Elphidium* (Montfort, 1808)

***Elphidium poeyanum* (d'Orbigny, 1839)**

Plate 1, P-11 (figura 5a, 5b, 5c).

*Elphidium poeyanum* (Orig. name: *Polystomella poeyana*), 1839 Orbigny, A. D. d'. (1839). page(s): p. 55, vol. 8 pl. 6 fig. 25-26.

**Material:** P-11 (114)

**Remarks:** Tests with seven to eight chambers, fewer than described by Haynes, 1973. Low interiomarginal opening, bordered by thickened ring as described by Delage & Hérouad, 1896.

**Dimensions:** 180 µm (length) x 150 µm (height).

**Age:** Middle Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 range (74-76)

**Distribution:** Shore sands of Cuba and Jamaica (Haynes, 1973).

**Family:** Bolivinitide (Cushman, 1927)

**Genus:** *Bolivina* (d'Orbigny, 1839)

***Bolivina ordinaria* (Phleger & Parker, 1952)**

Plate 1, P-12 (figure 6a, 6b).

*Bolivina ordinaria*. Phleger & Parker, (1952). 46, p. 14, pl. 7, figs. 4, Sa, b, 6.

**Material:** P-12 (5)

**Remarks:** Test with seven to ten pairs of chambers, narrow, small opening, extending from the basal suture to the terminal position like the species described by Boltovsky and Silvia, 1980. Sutures more depressed than described by Phleger & Parker, 1952.

**Dimensions:** 100 µm (length) x 210 µm (height).

**Age:** Miocene - Recent

**Occurrence:** P-12 range (108-110)

**Distribution:** Brazil (Bergamaschi, 2012; Sariaslan & Langer, 2021), Gulf of Mexico (Phleger & Parker, 1952).

***Bolivina compacta* (Sidebottom, 1905)**

Plate 1, P-12 (figure 7a); P-11 (figure 8a, 8b).

*Bolivina compacta*. Sidebottom, H. (1905). page(s): p. 15 pl. 3 fig. 7.

**Material:** P-11 (69); P-12 (19)

**Remarks:** Test with a more rounded edges than described by Sidebottom, 1905.

**Dimensions:** 100 µm (length) x 210 µm (height).

**Age:** Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 100-102); P-12 ranges (108-110, 124-126, 142-146).

**Distribution:** Gulf of Mexico (Felder, D. L. & Camp, D. K. (eds.), 2009), Cuba (Chávez M., 2006).

***Bolivina inflata* (Heron-Allen & Earland, 1913)**

Plate 1, P-12 (figure 9a); Plate 2, P-11 (figure 1a).

*Bolivina inflata*. Heron-Allen, E.; Earland, A. (1913). page(s): p. 68 pl. 5 fig. 16-19.

**Material:** P-11 (133); P-12 (2)



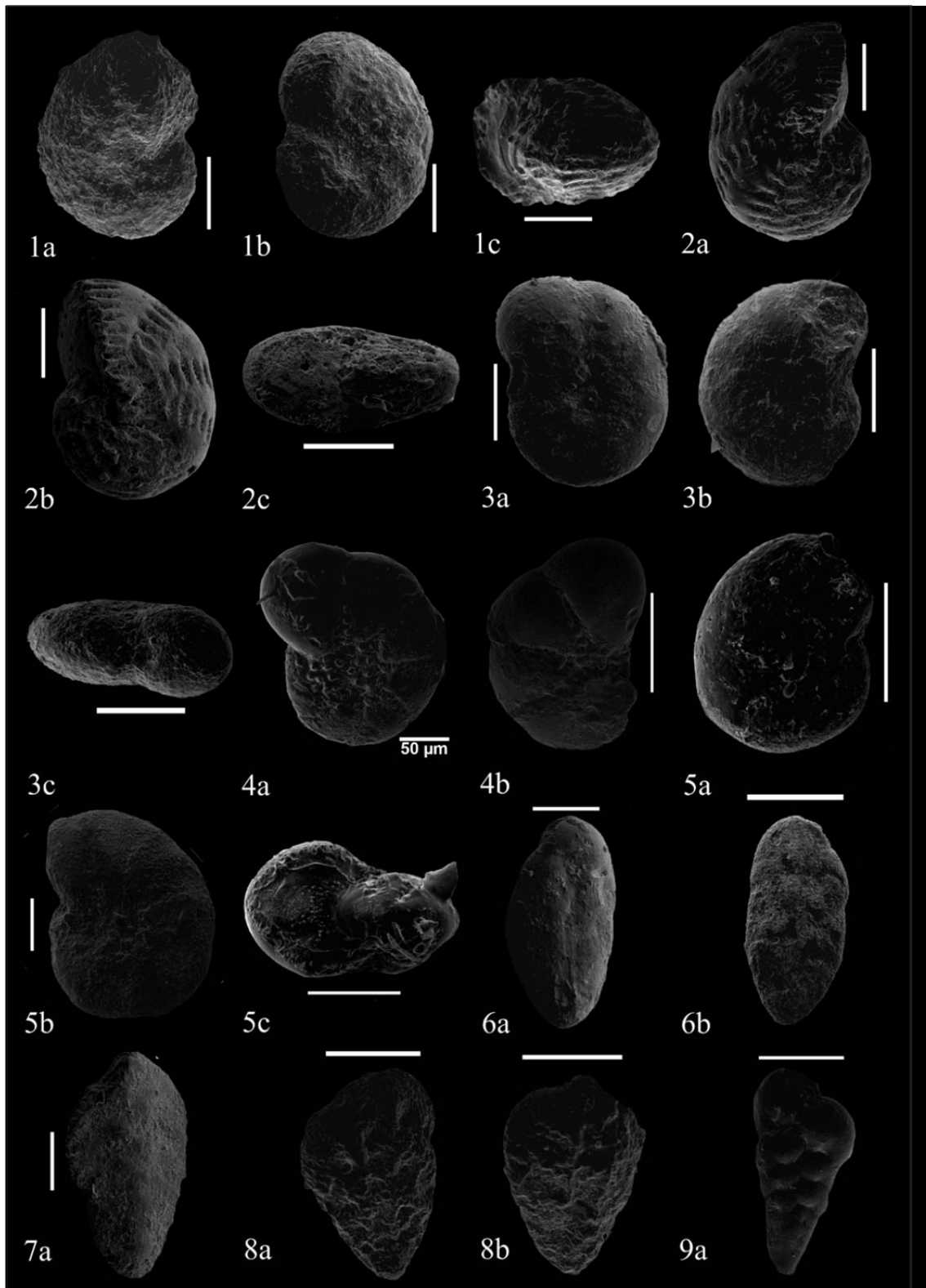
**Remarks:** Specimen differs from that described by Heron-Allen & Earland, 1913 by the lunar arch-shaped basal opening.

**Dimensions:** 120  $\mu\text{m}$  (length) x 240  $\mu\text{m}$  (height).

**Age:** Neogene - Recent

**Occurrence:** P-11 range (74-76); P-12 range (154-156).

**Distribution:** British islands (Heron-Allen & Earland, 1913), Gulf of Mexico (Felder, D. L. & Camp, D. K. (eds.), 2009), Brazil (Belart, et Al., 2019).



**Plate 1.** Escala representa 100 µm. (a) vista ventral, (b) vista dorsal, (c) vista lateral. **1a,b,c.** (P-12) - **2a,b,c** (P-11). *Criboelphidium williamsoni* Haynes; **3a,b,c.** (P-12) - **4a,b.** (P-11) *Criboelphidium excavatum* Terquem; **5a,b,c.** (P-11) *Elphidium poeyanum* d'Orbigny; **6a,b** (P-12) *Bolivina ordinaria* Phleger & Parker; **7a.** (P-12) - **8a,b.** (P-11). *Bolivina compacta* Sidebottom; **9a.** (P-11). *Bolivina inflata* Heron-Allen & Earland.

***Bolivina tortuosa* (Brady, 1881)**

Plate 2, P-11 (figure 2a, 2b).

*Bolivina tortuosa*. Brady, H. (1881). Page 57 (type description), illustrated as *Bolivina tortuosa* in Brady, 1884, pl. 52, figs. 31–34.

**Material:** P-11 (51)

**Remarks:** Very similar to the original species described by Brady, 1881 differs in the sharply marked edges and barely visible sutures.

**Dimensions:** 180 µm (length) x 240 µm (height).

**Age:** Miocene (Aquitainin) - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80)

**Distribution:** Ireland (Brady, 1881), Cuba (Chávez M., 2006).

***Bolivina antiqua* (d'Orbigny, 1846)**

Plate 2, P-11 (figure 3a, 3b).

*Bolivina antiqua*. Orbigny, A. D. d'. (1846). page(s): p. 240, pl. 14, figs. 11—13.

**Material:** P-11 (168)

**Remarks:** Test similar to the original species described by d'Orbigny, 1846, appearing very worn.

**Dimensions:** 90 µm (length) x 250 µm (height).

**Age:** Miocene (Aquitainian) - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80)

**Distribution:** Austria (d'Orbigny, 1846).

**Family:** Buliminidae (Jones, 1875)

**Genus:** *Bulimina* (d'Orbigny, 1826)

***Bulimina* sp.**

Plate 2, P-11 (figure 4a).

*Bulimina* sp. Orbigny, A. D. d'. (1826). page(s): p. 269

**Material:** P-11 (9)

**Description:** Test elongate, eleven chambers arranged triserially becoming biserial to upper part; chambers with subrounded base, upper surface ornamented in short rib with a row of tooth-shaped spines; sutures depressed; wall finely perforated, surface smooth; aperture terminal and ovate.

**Dimensions:** 80 µm (comprimento) x 260 µm (altura)

**Age:** Miocene – Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80).

**Family:** Cibicididae (Cushman, 1927)

**Genus:** *Cibicides* (Montfort, 1808)

***Cibicides pachyderma* (Rzehak, 1886)**

Plate 2, P-11 (figure 5a,5b).

*Cibicides pachyderma*. Rzehak, A. (1886). page(s): p. 87, pl. 1, fig. 5

**Material:** P-11 (147); P-12 (723)

**Remarks:** Test with plane or slightly concave dorsal margin, last chamber longer than described by Rzehak, 1886.

**Dimensions:** 190 µm (length) x 160 µm (height).

**Age:** Oligocene (Rupelian) - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 88-90, 96-98, 100-102, 106-108, 120-122); P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 124-126, 136-138, 138-140, 142-144, 152-154, 156-158).

**Distribution:** Czechia (Rzehak, 1886).

***Cibicides pirabensis* (Petri, 1957)**

Plate 2, P-12 (figure 6a, 6b).

*Cibides pirabensis*. Petri, S. (1957). Page. 75, Pl. 9, fig. 2-3.

**Material:** P-12 (53)

**Remarks:** The test is similar to *Cibicides reulgens*, but differs by a strongly convex ventral side and lower testa thickness as in the species described by Petri, 1957.

**Dimensions:** 300 µm (length) x 210 µm (height).

**Age:** Neogene - Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (108-110, 136-138, 142-144, 146-148, 152-154, 160-162).

**Distribution:** Brazil (Petri, 1957).

***Lobulata lobulata* (Walker & Jacob, 1798)**

Plate 2, P-11 (figura 7a, 7b).

(**Original name** *Nautilus lobatulus* Walker & Jacob, 1798) Kanmacher F. (1798). pp. 724, pl. 32.

**Material:** P-12 (98)

**Remarks:** Test with convex umbilical side involute very similar to the original species described by Kanmacher, 1798 and the species described by Boltovsky & Silvia, 1980 e Hayward & Buzas, 1973.

**Dimensions:** 170 µm (length) x 140 µm (height).

**Age:** Miocene (Aquitanean) - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 92-94, 96-98, 100-102, 120-122).

**Distribution:** Coast of Brazil (Schönfeld & Lübbers, 2020).

**Genus:** *Cibicoides* (Thalman, 1939)

***Cibicoides pseudoungerianus* (Cushman, 1922)**

Plate 2, P-11 (figure 8a, 8b).

*Cibicoides pseudoungerianus*. Cushman, J. A. (1922). page(s): p. 97, pl. 20, fig. 9.

**Material:** P-11 (140); P-12 (85)

**Remarks:** Test very similar to the one described by Cushman, 1922, has a less defined umbilical portion.

**Dimensions:** 250 µm (length) x 200 µm (height).

**Age:** Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80); P-12 ranges (108-110, 152-154, 160-162).

**Distribution:** Denmark (Schönfeld & Lübbers, 2020).

***Cibicoides subhaidingerii* (Parr, 1950)**

Plate 2, P-11 (figure 9a, 9b).

*Cibicoides subhaidingerii* (Parr, 1950). Page(s): p. 364, pl. 15, fig. 7

**Material:** P-11 (452); P-12 (1019)

**Remarks:** Test very similar to the one described by Parr, 1950 has a less defined umbilical portion.

**Dimensions:** 200 µm (length) x 150 µm (height).

**Age:** Cretaceous - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80); P-12 ranges (108-110, 152-154, 160-162).

**Distribution:** Antarctic Ocean (Parr, 1950)

***Cibicoides wuellerstorfi* (Schwager, 1866)**

Plate 2, P-12 (figure 10a, 10b).

*Cibicoides wuellerstorfi*. Schwager, C. (1866). page(s): p. 258 pl. 7 fig. 105, 107

**Material:** P-11 (452); P-12 (1019)

**Remarks:** Test very similar to the one described by Schwager, 1866 e Delage & Hérouad, 1896.

**Dimensions:** 300 µm (length) x 250 µm (height).

**Age:** Neogene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 92-94); P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 124-126).

**Distribution:** Italy (Barbieri, 2019)

**Genus:** *Heterolepta* (Franzenau, 1884)

***Heterolepa praecincta* (Karrer, 1868)**

Plate 2, P-12 (figure 11a, 11b)

*Heterolepa praecincta* (**original name** *Rotalia praecincta*) Karrer, F. (1868). page(s): p. 189 pl. 5 fig. 7

**Material:** P-11 (21); P-12 (75)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by Karrer, 1868 but very worn.

**Dimensions:** 300 µm (length) x 250 µm (height).

**Age:** Neogene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 92-94); P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 124-126).

**Distribution:** Aegean Sea (Frontalini, et Al., 2014)

**Family:** Uvigerinidae (Haeckel, 1894)

**Genus:** *Uvigerina* (d'Orbigny, 1826)

***Uvigerina peregrina* (Cushman, 1923)**

Plate 3, P-11 (figure 1a, 1b).

*Uvigerina peregrina*. Cushman, J. A. (1923). page(s): p. 166, pl. 42, figs. 7–10.

**Material:** P-11 (66); P-12 (21)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by Cushman, 1923.

**Dimensions:** 160 µm (length) x 250 µm (height).

**Age:** Eocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80); P-12 ranges (108-110, 124-126, 142-144).

**Distribution:** Gulf of Mexico, Caribbean Sea (Cushman, 1923)

***Uvigerina alata* (Cushman and Aplin, 1926)**

Plate 3, P-12 (figure 2a).

*Uvigerina alata*. Cushman, E. R. Aplin. (1926). Page 176, pl.8, figs. 11-13.

**Material:** P-11 (49); P-12 (38)

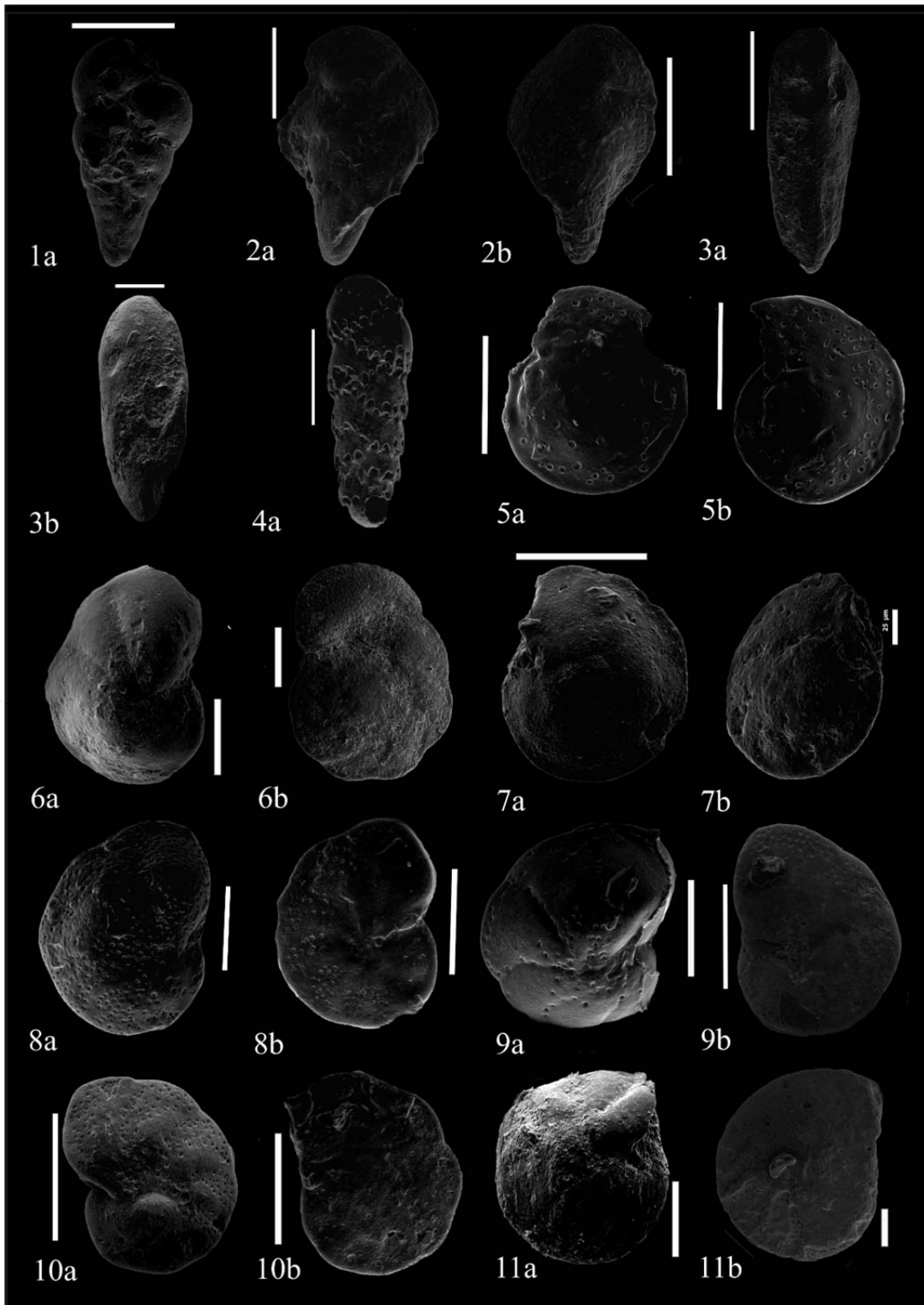
**Remarks:** Different to the original specimen described by Cushman and Aplin, 1926 by the fine-tuning in the last chamber.

**Dimensions:** 180 µm (length) x 360 µm (height).

**Age:** Eocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 92-94); P-12 ranges (108-110, 124-126, 142-144, 160-162).

**Distribution:** Texas, USA (Cushman and Aplin, 1926)



**Plate 2.** Representative scale 100  $\mu\text{m}$ . (a) ventral view, (b) dorsal view. **1a** (P-12). *Bolivina inflata* Heron-Allen & Earland; **2a,b** (P-11) *Bolivina tortuosa* Brady; **3a,b**. (P-11) *Bolivina Antiqua* d'Orbigny; **4a**. *Bulimina marginata* d'Orbigny; **5a,b**. (P-11) *Cibicides pachyderma* Rzehak; **6a,b**. (P-12) *Cibicides pirabensis* Petri; **7a,b** (P-11) *Lobulita lobulata* Walker & Jacob; **8a,b**. (P-11) *Cibicidoides pseudoungerianus* Cushman; **9a,b**. (P-11) *Cibicidoides subhaidingerii* Parr; **10a,b**. Escala 150  $\mu\text{m}$ . (P-12) *Cibicidoides wuellerstorfi* Schwager; **11a,b**. (P-12) *Heterolepa praecincta* Karrer.

**Family:** Rosalinidae (Reiss, 1963)  
**Genus:** *Rosalina* (d'Orbigny, 1826)  
*Rosalina floridana* (Cushman, 1922)  
 Plate 3, P-12 (figure 3a); P-11 (figure 4a, 4b).

*Rosalina floridana* (**original name** *Discorbis floridana*). Cushman, J. A. (1922). page(s): p. 39, pl. 5, Figs. 11, 12.

**Material:** P-11 (15); P-12 (19)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by Cushman, 1922.

**Dimensions:** 570 µm (length) x 390 µm (height).

**Age:** Cenozoic - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 96-98); P-12 ranges (120-122, 124-126, 142-144, 160-162).

**Distribution:** Florida Coast, USA (Cushman, 1922)

**Family:** Ammoniidae (Saidova, 1981)  
**Genus:** *Ammonia* (Brünnich, 1771)  
*Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758)  
 Plate 3, P-12 (figura 5a, 5b); P-11 (figura 6a, 6b).

*Ammonia beccarii*. Linnaeus, C. (1758). Page 270 (type description).

**Material:** P-11 (169); P-12 (81)

**Remarks:** It presents more pronounced sutures than the original specimen described by Linnaeus, 1758 e Delage & Hérouad, 1896.

**Dimensions:** 300 µm (length) x 270 µm (height).

**Age:** Neogene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 96-98, 100-102, 106-108); P-12 ranges (108-110, 120-122, 124-126, 132-134, 138-140, 146-148, 154-156, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Mediterranean sea (Linnaeus, 1758)

***Ammonia tepida* (Cushman, 1926)**  
 Plate 3, P-12 (figure 7a, 7b); P-11 (figure 8a, 8b)

*Ammonia tepida*. (**Original name:** *Rotalia beccarii* var. *tepida*). Cushman, J.A., 1926. page(s): 79, pl. 1.

**Material:** P-11 (160); P-12 (21)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by Linnaeus, 1758 e Delage & Hérouad, 1896, differs in the prominence of the last chamber. It differs from the species *Ammonia beccarii* by the sunken umbilicus and the more rounded cameras.

**Dimensions:** 270 µm (length) x 210 µm (height).



**Age:** Cenozoic - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80); P-12 ranges (124-126, 132-134, 136-138, 142-144, 152-154, 154-156, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Brazil (Belart, et al., 2019)

**Family:** Discorbinellidae (Sigal, 1952)

**Genus:** *Hanzawaia* (Asano, 1944)

***Hanzawaia mantaensis* (Galloway & Morrey, 1929)**

Plate 3, P-12 (figure 9a, 9b).

*Hanzawaia mantaensis*. Galloway & Morrey, 1929. page(s): p. 28, pl. 4, fig. 5.

**Material:** P-11 (160); P-12 (21)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by Galloway & Morrey, 1929 but very worn.

**Dimensions:** 260 µm (length) x 300 µm (height).

**Age:** Middle Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 88-90, 92-94, 96-98, 100-102, 106-108, 120-122); P-12 ranges (136-138, 142-144, 146-148, 152-154, 154-156, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Ecuador (Galloway & Morrey, 1929)

**Family:** Nonionidae (Schultze, 1854)

**Genus:** *Nonionoides* (Saidova, 1975)

***Nonionoides grateloupii* (d'Orbigny, 1839)**

Plate 3, P-12 (figure 10a), P-11 (figure 10b).

*Nonionoides grateloupii*. (**Original name:** *Nonionina grateloupii*) Orbigny, A. D. d'. (1839). page(s): p. 46 pl. 6 fig. 6-7.

**Material:** P-11 (64); P-12 (11)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by d'Orbigny, 1839 but very worn.

**Dimensions:** 370 µm (length) x 220 µm (height).

**Age:** Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76); P-12 ranges (142-144, 152-154, 154-156, 156-158, 160-162).

**Distribution:** France (d'Orbigny, 1839), Cuba, Jamaica, Martinique and Porto Rico (Haynes, 1973)

**Family:** Melonidae (Holzmann & Pawlowski, 2017)

**Genus:** *Melonis* (Montfort, 1808)

***Melonis pompilioides* (Fichtel & Moll, 1798)**

Plate 3, P-12 (figure 11a, 11b).

*Melonis pompilioides*. (**Original name:** *Nautilus pompilioides*). Fichtel, L. & Moll, J.P.C. (1798). page(s): p. 31, pl. 2, figs. a-c.

**Material:** P-11 (76); P-12 (18)

**Remarks:** Similar to the original specimen described by Fichtel & Moll, 1798 but less perforated and very worn.

**Dimensions:** 410 µm (length) x 320 µm (height).

**Age:** Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 92-94); P-12 ranges (124-126, 152-154).

**Distribution:** Germany (Fichtel & Moll, 1798)

**Familia:** Cassidulinidae (d'Orbigny, 1839)

**Gênero:** *Cassidulina* (d'Orbigny, 1826)

***Cassidulina laevigata* (d'Orbigny, 1826)**

Plate 4, P-12 (figure 1a, 1b).

*Cassidulina laevigata*. Orbigny, A. D. d'. (1826). page(s): p. 282 n° 1 Model n° 41, pl. 15 fig. 4-5

**Material:** P-11 (151); P-12 (71)

**Remarks:** Similar to the specimen described by Fichtel & Moll, 1798 and Boltovsky & Silvia, 1980.

**Dimensions:** 210 µm (length) x 210 µm (height).

**Age:** Oligo-Miocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 88-90, 92-94, 96-98, 106-108); P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 132-134, 136-138, 142-144, 146-148, 156-158).

**Distribution:** Brazil (Bergamaschi, 2012)

**Family:** Notorotaliidae (Hornibrook, 1961)

**Genus:** *Buccella* (Andersen, 1952)

***Buccella peruviana* (d'Orbigny, 1839)**

Plate 4, P-12 (figura 2a, 2b)

*Buccella peruviana*. (**Original name:** *Rotalina peruviana*) Orbigny, A. D. d'. (1839). Page 35, pl. II, fig. 3-5.

**Material:** P-11 (6); P-12 (8)

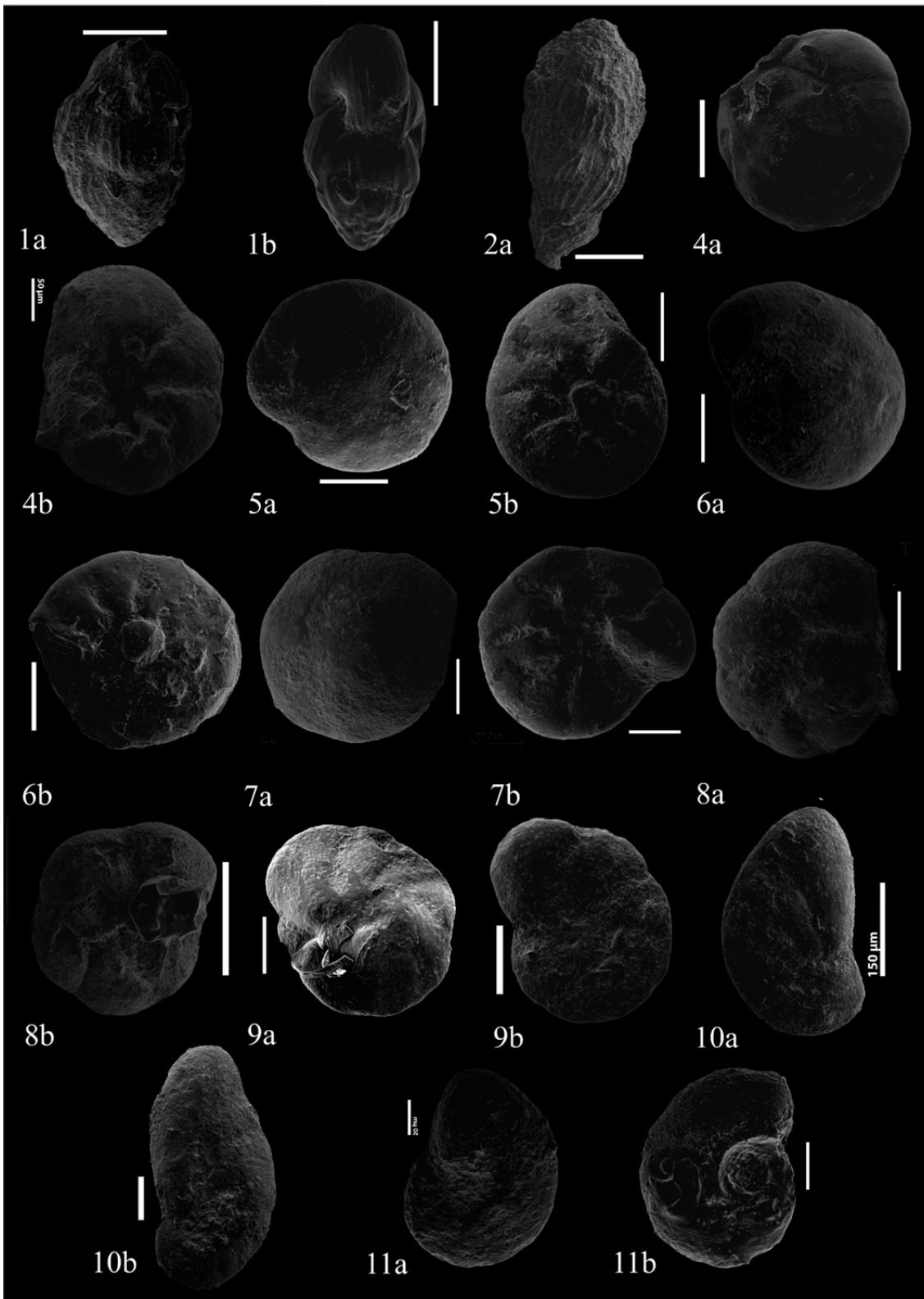
**Remarks:** Similar to the specimen described by d'Orbigny, 1839 and Boltovsky & Silvia, 1980.

**Dimensions:** 410 µm (length) x 360 µm (height).

**Age:** Neocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (92-94, 120-122); P-12 ranges (108-110, 120-122, 136-138, 142-144).

**Distribution:** America (d'Orbigny, 1839)



**Plate 3.** Representative scale 100 µm. (a) ventral view, (b) dorsal view. **1a,b** (P-11). *Uvigerina peregrina* cushman; **2a**. (P-11) *Uvigerina alata* Cushman and Aplin; **3a** (P-11) **4a,b**. (P-12) *Rosalina floridana* Cushman; **5a,b**. (P-12), **6a,b**. (P-11) *Ammonia beccarii* Linnaeus; **7a,b** (P-12), **8a,b**. (P-11) *Ammonia tepida* Cushman; **9a,b**. (P-12) *Hanzawaia mantaensis* Galloway & Morrey; **10a** (P-11), **10b**. Escala 150 µm. (P-12) *Nonionoides grateloupii* d 'Orbigny; **11a,b**. (P-12) *Melonis pompilioides* Fichtel & Moll.

**Family:** Siphoninidae (Cushman, 1927)  
**Genus:** *Siphonina* (Reuss, 1850)  
*Siphonina pulchra* (Cushman, 1919)  
 Plate 4, P-12 (figure 3a, 3b)

*Siphonina pulchra*. Cushman, J. A. (1919). Page: 42, pl. 14, figs. 7a-c.

**Material:** P-11 (78); P-12 (417)

**Remarks:** Similar to the specimen described by Cushman, 1919 and Petri, 1952.

**Dimensions:** 250 µm (length) x 200 µm (height).

**Age:** Middle Eocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (92-94, 96-98, 100-102, 106-108); P-12 ranges (120-122, 124-126, 132-134, 136-138, 138-140, 142-144, 152-154, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Cuba (Cushman, 1919)

**Family:** Amphisteginidae (Cushman, 1927)  
**Genus:** *Amphistegina* (d'Orbigny, 1826)  
*Amphistegina lessonii* (d'Orbigny, 1826)  
 Plate 4, P-12 (figure 4a, 4b)

*Amphistegina lessonii*. Orbigny, A. D. d'. (1826). page(s): p. 304

*Amphistegina lessonii*. var. *tumida*. Petri, S. (1954). Page(s): 110-114, pl. 10, figs. 10-16, pl. 11, figs. 1-6.

**Material:** P-11 (2); P-12 (389)

**Remarks:** Lenticular tests, some low biconvex like the one described by d'Orbigny, 1826, others have a more convex and inflated dorsal side like the var. *tumida* described by Petri, 1954. They present high abrasion.

**Dimensions:** 650 µm (length) x 550 µm (height).

**Age:** Oligocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (96-98, 106-108); P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 124-126, 132-134, 136-138, 138-140, 142-144, 146-148, 154-156, 160-162).

**Distribution:** France (Cushman, 1931), Haiti (Palmer, 1941), Cuba (Cushman, 1945), Venezuela (Bermudez, 1949), Brazil (Petri, 1954)

**Family:** Discorbidae (Ehrenberg, 1838)  
**Genus:** *Discorbis* (Lamarck, 1804)  
*Discorbis paraensis* (Petri, 1957) †  
 Plate 4, P-11 (figure 5a, 5b)

*Discorbis discoides*. Petri, S. (1957). Page: 60, pl. 5, figs. 11, 13.

**Material:** P-11 (56); P-12 (2)

**Remarks:** Test similar to the one described by Petri, 1957 but very worn.

**Dimensions:** 300 µm (length) x 300 µm (height).

**Age:** Eocene - Recent

**Occurrence:** P-11 range (74-76)

**Distribution:** Brazil (Petri, 1957)

**Order:** Robertinida (Loeblich & Tappan, 1984)

**Family:** Epistominidae (Wedekind, 1937)

**Genus:** *Hoeglundina* (Brotzen, 1948)

***Hoeglundina elegans* (d'Orbigny, 1826)**

Plate 4, P-12 (figure 6a, 6b)

*Hoeglundina elegans*. (**Original name:** *Rotalia (Turbinuline) elegans*) Orbigny, A. D. d'. (1826).  
page(s): p. 276 n° 54

**Material:** P-11 (56); P-12 (2)

**Remarks:** Biconvex test with subacute periphery similar to the one described by Debenary J., 2012.

**Dimensions:** 300 µm (length) x 300 µm (height).

**Age:** Eocene (Priabonian) - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (88-90,92-94, 96-98, 106-108); P-12 ranges (136-138).

**Distribution:** Brazil (Bergamaschi, 2012)

**Class:** Nodosariata (Mikhalevich, 1992)

**Order:** Nodosariida (Calkins, 1926)

**Family:** Lagenidae (Reuss, 1862)

**Genus:** *Lagena* (Walker & Jacob, 1798)

***Lagena laevis* (Montagu, 1803)**

Plate 4, P-12 (figure 7a)

*Lagena laevis* (**Original name:** *Vermiculum laeve*) Montagu, G. (1803). pp. 293–606, pl. 1-16.

**Material:** P-11 (2); P-12 (115)

**Remarks:** Test too similar to the original described by Montagu, 1803.

**Dimensions:** 120 µm (length) x 280 µm (height).

**Age:** Jurassic - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76); P-12 ranges (108-110, 120-122, 136-138, 142-144, 152-154, 154-156, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Britain (Montagu, 1803)

***Lagena clavata* (d'Orbigny, 1846)**

Plate 4, P-12 (figure 8a)

*Lagena clavata*. Orbigny, A. D. d'. (1846). page(s): p. 24, Pl. 1, Figs. 2–3

**Material:** P-12 (207)

**Remarks:** Test too similar to the original described by d'Orbigny, 1846 but very worn and fractured,

**Dimensions:** 120 µm (length) x 380 µm (height).

**Age:** Jurassic - Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (108-110, 142-144, 152-154, 154-156, 156-158, 160-162).

**Distribution:** Austria (d'Orbigny, 1846).

***Lagena spicata* (Cushman & McCulloch, 1950)**

Plate 4, P-11 (figure 9a)

*Lagena spicata*. Cushman, J.A.; McCulloch, I. 1950. page(s): p. 360, pl. 48, Figs. 3–7.

**Material:** P-11 (17).

**Remarks:** Test identical to the original described by Cushman & McCulloch, 1950 and Debenary, 2012.

**Dimensions:** 110 µm (length) x 220 µm (height).

**Age:** Jurassic - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76, 84-86, 96-98, 106-108).

**Distribution:** Mexico (Cushman & McCulloch, 1950)

**Family:** Stilostomellidae (Finlay, 1947) †

**Genus:** *Siphonodosaria* (Silvestri, 1924) †

***Siphonodosaria consobrina* (d'Orbigny, 1846) †**

Plate 4, P-11 (figure 10a)

*Siphonodosaria consobrina*. Orbigny, A. D. d'. (1846). page(s): p. 46, pl. 2, figs. 1–3.

**Material:** P-11 (2)

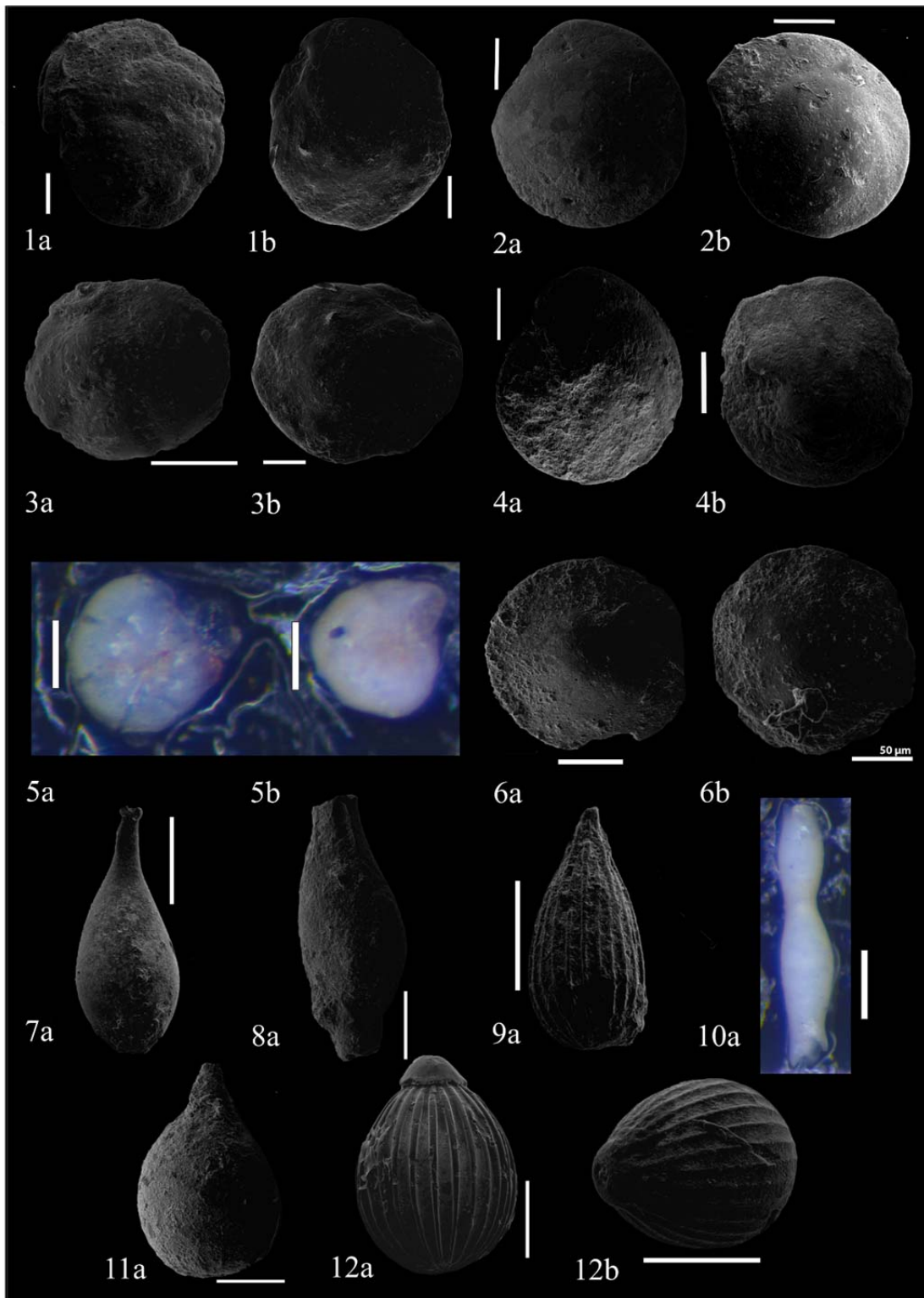
**Remarks:** Test too similar to the original described by d'Orbigny, 1846 and Petri, 1952.

**Dimensions:** 50 µm (length) x 320 µm (height).

**Age:** Eocene - Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (74-76).

**Distribution:** Austria (d'Orbigny, 1846).



**Plate 4.** Representative scale 100  $\mu\text{m}$ . (a) ventral view, (b) dorsal view. **1a,b.** (P-12). *Cassidulina laevigata* d'Orbigny; **2a,b.** (P-12) *Buccella peruviana* d'Orbigny; **3a,b.** (P-12) *Siphonina pulchra* Cushman; **4a,b.** (P-12). *Amphistegina lessonii* var. *tumida* Petri; **5a,b.** (P-11) *Discorbis discoides*. Petri; **6a,b.** (P-12) *Hoeglundina elegans* d'Orbigny; **7a.** (P-12) *Lagena laevis* Montagu; **8a.** (P-12) *Lagena clavata* d'Orbigny; **9a.** (P-12) *Lagena spicata* Cushman & McCulloch; **10a.** (P-12) *Siphonodosaria consobrina*. Orbigny; **11a.** (P-12). *Oolina globosa* Montagu; **12a,b.** (P-11) *Oolina borealis* Loeblich & Tappan.

***Oolina globosa* (Montagu, 1803)**

Plate 4, P-12 (figura 11a)

*Oolina globosa*. Montagu, G. (1803). pp. 293–606, pl. 1-16.*Buchnerina sp.* Kawagata, Shungo; Kamihashi, Tomoyuki (2016). Page 17, pl. 6, fig. 4.**Material:** P-12 (38)**Remarks:** Test too similar to the original described by Montagu, 1803 but presents a more elongated opening, similar to the species *Buchnerina sp.* described by Kawagata & Kamihashi, 2016.**Dimensions:** 220 µm (length) x 320 µm (height).**Age:** Triassic - Recent**Occurrence:** P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 124-126, 142-146, 154-156).**Distribution:** Austria (d'Orbigny, 1846), New Zeland (Kawagata & Kamihashi, 2016)***Oolina borealis* (Loeblich & Tappan, 1954)**

Plate 4, P-11 (figure 12a, 12b)

*Oolina borealis*. Loeblich, A. R.; Tappan, H. (1954). Page 384.*Homalohedra bassensis* (Collins, 1974). page(s): 22, pl. 1, fig. 10**Material:** P-11 (23); P-12 (31)**Remarks:** Test too similar to the original which is also described by Boltovsky & Silvia, 1980; and the one described with the name *Homalohedra bassensis* identified by Collins, 1974 and Kawagata & Kamihashi, 2016.**Dimensions:** 210 µm (length) x 280 µm (height).**Age:** Neogene - Recent**Occurrence:** P -11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 96-98); P-12 ranges (108-110, 124-26, 142-144, 152-154, 154-156, 156-158, 160-162).**Distribution:** Austria (Collins, 1974), New Zeland (Kawagata & Kamihashi, 2016)**Genus:** *Fissurina* (Reuss, 1850)***Fissurina laevigata* (Reuss, 1850)**

Plate 5, P-11 (figure 1a, 1b)

*Fissurina laevigata*. Reuss, A. E. (1850).**Material:** P-11 (35); P-12 (31)**Remarks:** Test too similar to the original description of Reuss, 1850 and also identified by Boltovsky & Silvia, 1980; Petri, 1952 and Petri, 1954.**Dimensions:** 170 µm (length) x 220 µm (height).**Age:** Neogene - Recent**Occurrence:** P -11 ranges (74-76, 78-80, 84-86, 92-94, 106-108).



**Distribution:** Austria (Reuss, 1850), Brazil (Petri, 1954).

**Order:** Vaginulinida (Mikhalevich, 1993)

**Family:** Vaginulinidae (Reuss, 1860)

**Genus:** *Lenticulina* (Lamarck, 1804)

***Lenticulina rotulata* (Lamarck, 1804)**

Plate 5, P-12 (figure 2a, 2b)

*Lenticulina rotulata*. (**Original name:** *Lenticulites rotulata*) Lamarck [J.B.P.A. de]. (1804). Page(s): 5: 28-36; 91-98; 179-188; 237-245; 349-367; pl. 59-62 [plates published 1806 in vol. 8].

**Material:** P-11 (27); P-12 (9)

**Remarks:** Test too similar to the original description of Lamarck, 1804.

**Dimensions:** 600 µm (length) x 600 µm (height).

**Age:** Cretaceous - Recent

**Occurrence:** P -11 ranges (88-90, 92-94, 106-108, 120-122); P-12 ranges (136-138, 142-144, 160-162).

**Distribution:** France (Lamarck, 1804)

**Class:** Tubothalamea (Pawłowski, Holzman & Tyszka, 2013)

**Order:** Miliolida (Delage & Hérouard, 1896)

**Family:** Soritidae (Ehrenberg, 1839)

**Genus:** *Sorites* (Ehrenberg, 1839)

***Sorites orbiculus* (Forsskål in Niebuhr, 1775)**

Plate 5, P-12 (figura 3a, 3b)

*Sorites orbiculus*. (**Original name:** *Nautilus orbiculus*) Niebuhr C. (ed.) (1775). page(s): p. 125.

**Material:** P-11 (75); P-12 (129)

**Remarks:** Test too similar to the original description of Forsskål in Niebuhr, 1775 and the identification of Debenary, 2012.

**Dimensions:** 450 µm (length) x 450 µm (height).

**Age:** Miocene- Recent

**Occurrence:** P -11 ranges (84-86, 88-90, 92-94, 96-98, 100-102, 106-108, 120-122); P-12 ranges (100-102, 108-110, 120-122, 124-126, 132-136, 136-138, 142-144, 146-148, 152-154).

**Distribution:** Germany (Forsskål in Niebuhr, 1775)

**Family:** Hauerinidae (Schwager, 1876)

**Genus:** *Pyrgo* (Defrance, 1824)

***Pyrgo elongata* (d'Orbigny, 1826)**

Plate 5, P-12 (figure 4a)

*Pyrgo elongata*. (**Original name:** *Biloculina elongata*) Orbigny, A. D. d'. (1826). page(s): p. 298 n° 4

**Material:** P-12 (10)

**Remarks:** Test too similar to the original description of d'Orbigny, 1826.

**Dimensions:** 330 µm (length) x 230 µm (height).

**Age:** Paleogene- Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (100-102, 108-110, 132-136, 138-140, 152-154, 160-162).

**Distribution:** France (d'Orbigny, 1826)

***Pyrgo simplex* (d'Orbigny, 1846)**

Plate 5, P-12 (figure 5a)

*Pyrgo simplex*. Orbigny, A. D. d'. (1846). page(s): p. 264, pl. 15, figs. 25—27.

**Material:** P-11 (3); P-12 (10)

**Remarks:** Test too similar to the original description of d'Orbigny, 1846 and the identification of Petri, 1952 and Boltovsky & Silvia, 1980

**Dimensions:** 330 µm (length) x 230 µm (height).

**Age:** Paleogene- Recent

**Occurrence:** P-11 ranges (96-98, 106-108, 120-122); P-12 ranges (108-110, 132-136, 142-144, 146-148).

**Distribution:** Brazil (Petri, 1952)

**Genus:** *Quinqueloculina* (d'Orbigny, 1826)

***Quinqueloculina seminula* (Linné, 1758)**

Plate 5, P-12 (figure 6a, 6b)

*Quinqueloculina seminula*. (**Original name:** *Serpula seminulum*) Linnaeus, C. (1758). page(s): 786

**Material:** P-12 (5)

**Remarks:** Test too similar to the original description of d'Orbigny, 1846 and the identification of Petri, 1954.

**Dimensions:** 330 µm (length) x 370 µm (height).

**Age:** Cretaceous - Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (108-110, 132-136, 136-138).

**Distribution:** Brazil (Petri, 1954)

***Quinqueloculina lamarckiana* (d'Orbigny, 1839)**

Plate 5, P-12 (figure 7a)

*Quinqueloculina lamarckiana*. Orbigny, A. D. d'. (1839). page(s): p. 189, pl. 11, figs 14, 15

**Material:** P-12 (3)

**Remarks:** Test too similar to the original description of d'Orbigny, 1846 and the identification of Petri, 1954.

**Dimensions:** 170 µm (length) x 220 µm (height).

**Age:** Paleocene - Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (108-110, 132-136).

**Distribution:** Brazil (Petri, 1954)

**Family:** Miliamminidae (Schwager, 1876)  
**Genus:** *Miliammina* (Heron-Allen & Earland, 1930)  
*Miliammina fusca* (Brady, 1870)  
 Plate 5, P-12 (figure 8a, 8b)

*Miliammina fusca* (**Original name:** *Quinqueloculina fusca*) Brady, G. S.; Robertson, D. (1870).  
 page(s): p. 286, pl. 11, Figs. 2, 3

**Material:** P-12 (2)

**Remarks:** Test too similar to the original description of Brady, 1870.

**Dimensions:** 500 µm (length) x 340 µm (height).

**Age:** Paleocene - Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (108-110, 132-136).

**Distribution:** Britan (Heron-Allen & Earland, 1930)

**Family:** Cornuspiridae (Schultze, 1854)  
**Genus:** *Cornuspira* (Schultze, 1854)  
*Cornuspira planorbis* (Schultze, 1853)  
 Plate 5, P-12 (figure 9a, 9b)

*Cornuspira planorbis*. Schultze, M. J. S. (1854). page(s): p. 40 pl. 2 fig. 2.

**Material:** P-11 (1); P-12 (1)

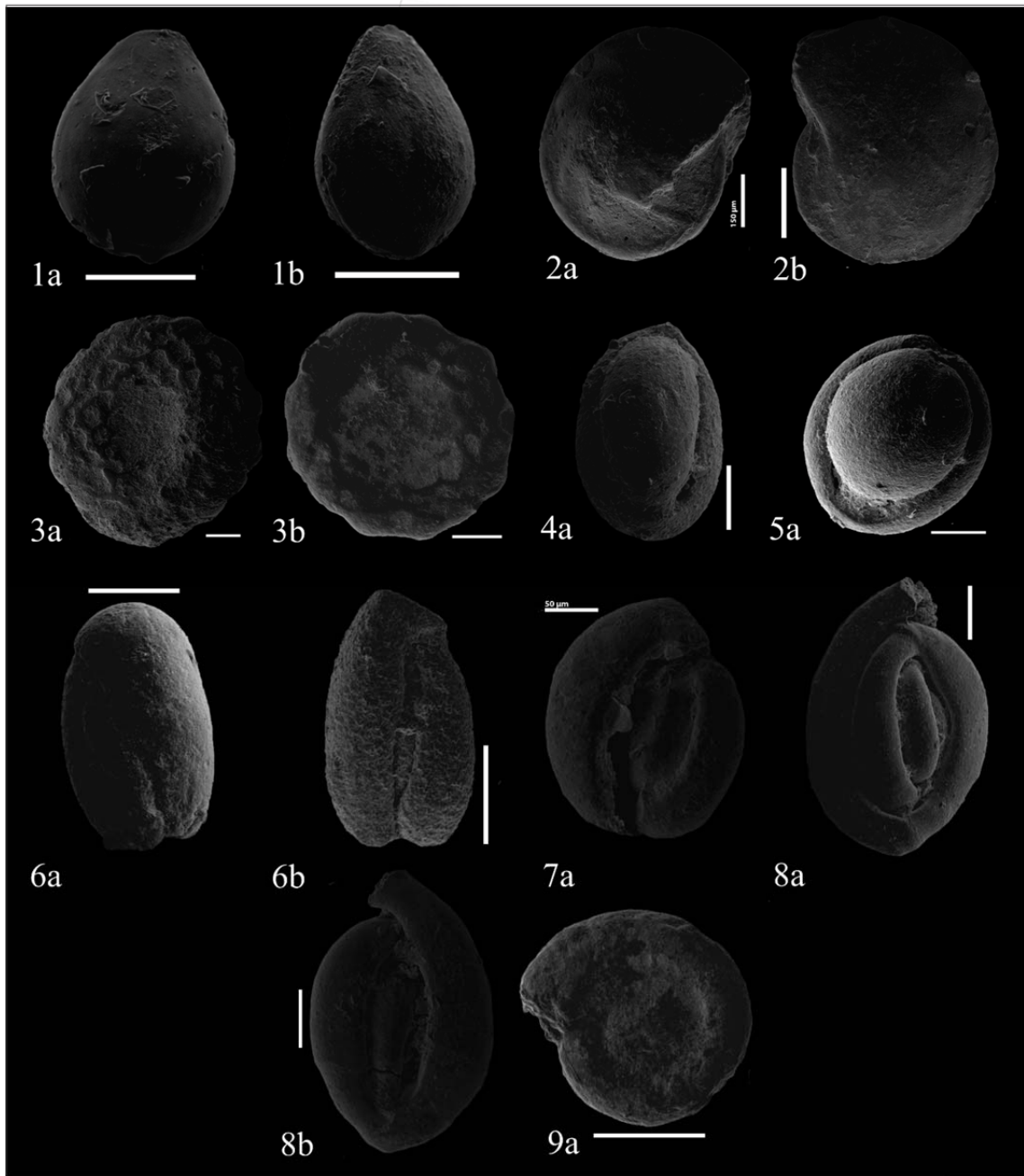
**Remarks:** Test too similar to the original description of Brady, 1870 and the organisms identified in Petri, 1952 and Debenary, 2012 but these are very worn.

**Dimensions:** 500 µm (length) x 340 µm (height).

**Age:** Paleocene - Recent

**Occurrence:** P-12 ranges (108-110, 132-136).

**Distribution:** Germany (Schultze, 1853), Brazil (Petri, 1952)



**Plate 5.** Representative scale 100  $\mu\text{m}$ . (a) ventral view, (b) dorsal view. **1a,b.** (P-11). *Fissurina laevigata* Reuss; **2a,b.** (P-12) *Lenticulina rotulata* Lamarck; **3a,b.** (P-12) *Sorites orbiculus* Forsskål in Niebuhr; **4a.** (P-12). *Pyrgo elongata* d'Orbigny; **5a.** (P-12) *Pyrgo simplex* d'Orbigny; **6a,b.** (P-12) *Quinqueloculina seminula* Linné; **7a.** (P-12) *Quinqueloculina lamarckiana* d'Orbigny; **8a,b.** (P-11) *Quinqueloculina polygona* d'Orbigny; **9a,b.** (P-12) *Cornuspira planorbis* Schultze.

## REFERENCES

Brady, H. B. (1881). Notes on some of the Reticularian Rhizopoda of the "Challenger" Expedition. Part III. *Quarterly Journal of Microscopical Science.* (2) 21 (81): 31-71.

Barbieri, G., Rossi, V., Vaiani, S.C., Horton, B.P., 2019. Benthic ostracoda and foraminifera from the North Adriatic Sea (Italy, Mediterranean Sea): A proxy for the depositional characterisation of river-influenced shelves. *Marine Micropaleontology* 153, 101772.

Bargamaschi, M.L., 2012: Interpretações paleoambientais do Pleistoceno Médio com base em foraminiferos bentonicos da Bacia de Santos – Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em

Ciências Biológicas) Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo – RS 120p (in portuguese) Plate 1, Fig. G

Belart, P.; Habib, R.; Raposo, D.; Clemente, I.; Alves Martins, M. V.; Frontalini, F.; Figueiredo, M. S. L.; Lorini, M. L.; Laut, L. (2019). Seasonal Dynamics of Benthic Foraminiferal Biocoenosis in the Tropical Saquarema Lagoonal System (Brazil). *Estuaries and Coasts*. 42(3): 822-841

Boltovskoy, E., Giussani, G., Watanabe, S., & Wright, R. (1980). *Atlas of benthic shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic*. Oxford: Dr. W. Junk B. V. Publishers.

Chávez Marrero, M. E. (2006). Protozoos – Reino PROTISTA. Foraminifera. Lista de especies registradas en Cuba (diciembre de 2006). *Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba*

Collins, A. C. (1974). Port Phillip Survey 1957–63 Foraminiferida. *Memoirs of the National Museum of Victoria*. 35: 1-61.

Cushman, J. A. (1919). Fossil foraminifera from the West Indies. In: Vaughan T.W., Contributions to the geology and paleontology of the West Indies. *Publications Carnegie Institution*. 291: 21-71 + pls. 1-15.

Cushman, J. A. (1922). The foraminifera of the Byram Calcareous Marl at Byram, Mississippi. *United States Geological Survey Professional Papers*. 129: 87-123.

Cushman, J. A. (1922). Shallow-water Foraminifera of the Tortugas region. Publications of the Carnegie Institution of Washington 311. *Department of Marine Biology of the Carnegie Institution of Washington*. Volume 17: 1-85.

Cushman, J. A. (1923). The Foraminifera of the Atlantic Ocean pt. 4: Lagenidae. *Bulletin of the United States National Museum*. (104): i-228. page(s): p. 166, pl. 42, figs. 7–10.

Cushman, E. R. Applin. (1926). Texas Jackson Foraminifera. *AAPG Bulletin*. 10 (2): 154–189.

Cushman, J.A.; McCulloch, I. 1950. Reports on the collections obtained by Allan Hancock Expeditions of Velero III off the coast of Mexico, Central America, South America and Galapagos Islands in 1932-1941, and Velero IV in 1949. Some Lagenidae in the collections of the Allan Hancock Foundation. *Allan Hancock Pacific expeditions* 6: 295-364.

Debenary, J. P. (2013). *A Guide to 1,000 Foraminifera from Southwestern Pacific, New Caledonia*. IRD, Marseille; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 384 p. (Hors collection; 35)

Delage, Y. & Hérouard, E. (1896). *Traité de Zoologie Concrète*, Vol. 1, la Cellule et les Protozoaires. Paris: Schleicher Frères. Sin Págs

Felder, D. L.; Camp, D. K. (eds.). (2009). Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota. Biodiversity. *Texas A&M Press, College Station, Texas*.

Frontalini, F.; Kaminski, M. A.; Mikellidou, I.; Armynot du Châtelet, E. (2014). Checklist of benthic foraminifera (class Foraminifera: d'Orbigny 1826; phylum Granuloreticulosa) from Saros Bay, northern Aegean Sea: a biodiversity hotspot. *Marine Biodiversity*. 45(3): 549-567.

Galloway, J. J.; Morrey, M. (1929). A lower Tertiary foraminiferal fauna from Manta, Ecuador. *Bulletins of American Paleontology*. 15(55): 1-56.

Hayward, Bruce W.; Buzas, Martin A. (1979). Taxonomy and paleoecology of early Miocene benthic foraminifera of northern New Zealand and the north Tasman Sea. Washington: Smithsonian Institution Press, n. 36.

Haynes, J. R. (1973). Cardigan Bay Recent Foraminifera (Cruises of the R. V. Antur, 1962-1964). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology*. Supplement 4, pp. 1-245.

Heron-Allen, E.; Earland, A. (1913). Clare Island Survey: Part 64. Foraminifera. *Proceedings of the Royal Irish Academy*. 31 sect. 3: 1-188.

Karrer, F. (1868). Die miocene Foraminiferenfauna von Kostež im Banat. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe*. Wien. 58: 121-193.

Kawagata, Shungo; Kamihashi, Tomoyuki (2016). *Middle Pleistocene to Holocene Upper Bathyal Benthic Foraminifera from IODP Hole U1352B in Canterbury Basin, New Zealand*. *Paleontological Research*, 20(s1), 1–85. doi:10.2517/2016pr018)

- Lamarck [J.B.P.A. de]. (1804). Suite des mémoires sur les fossiles des environs de Paris. *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle*. 5: 28-36; 91-98; 179-188; 237-245; 349-367; pl. 59-62 [plates published 1806 in vol. 8].
- Linnaeus, C. (1758). *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Editio decima, reformata [10th revised edition], vol. 1: 824 pp.*
- Montagu, G. (1803). *Testacea Britannica or natural history of British shells, marine, land, and fresh-water, including the most minute: Systematically arranged and embellished with figures*. J. White, London, Vol. 1, xxxvii + 291 pp; Vol. 2, pp. 293–606, pl. 1-16.
- Niebuhr C. (ed.) (1775). *Descriptiones animalium avium, amphibiorum, piscium, insectorum, vermium quae in itinere orientali observavit Petrus Forskål, prof. Haun., post mortem auctoris edidit Carsten Niebuhr. Hauniae [Copenhagen], Möller, pp. 1-19 + i-xxxiv + 1-164, 1 map. page(s): p. 125.*
- Orbigny, A. D. d'. (1826). *Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. Annales des Sciences Naturelles*. vol. 7: 96-169, 245-314.
- Orbigny, A. D. d'. (1839). Foraminifères, in de la Sagra R., *Histoire physique, politique et naturelle de l'île de Cuba*. A. Bertrand. 1-224.
- Orbigny, A. D. d'. (1839). *Voyage dans l'Amérique Méridionale. Foraminifères*. t. 5 pt. 5: 1-86.
- Parr, W. J. (1950). Foraminifera. *B.A.N.Z. Antarctic Research Expedition 1929-1931. Report. Series B 5 (6): 232-392. Page(s): p. 364, pl. 15, fig. 7.*
- Petri, S. (1954). Foraminíferos Fósseis da Bacia do Marajó. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Mineralogia*. (11): 1-172.
- Petri, S. (1957). Foraminíferos Miocênicos da formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia*. (16): 1-80.
- Phleger, F. B. and F. L. Parker. Phleger, F. B. and F. L. Parker (1952). New names for northwestern Gulf of Mexico foraminifera. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*. 3(1): 14.
- Phleger, F. B.; Parker, F. L. (1951). Ecology of foraminifera, northwest Gulf of Mexico. Pt. II. Foraminifera species. *Memoirs of the Geological society of America*. 46: 1-64.
- Reuss, A. E. (1850). Neue Foraminiferen aus den Schichten des österreichischen Tertiärbeckens. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*. 1: 365-390.
- Sariaslan, N.; Langer, M. R. (2021). Atypical, high-diversity assemblages of foraminifera in a mangrove estuary from Northern Brazil. *Biogeosciences*.
- Sidebottom, H. (1905). Report on the Recent foraminifera from the coast of the island of Delos (Grecian Archipelago). Part II. *Memoirs and proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society*. 49(5): 1-22. page(s): p. 15 pl. 3 fig. 7.
- Schönfeld, J.; Lübbers, J. (2020). Checklist, assemblage composition, and biogeographic assessment of Recent benthic foraminifera (Protista, Rhizaria) from São Vicente, Cape Verdes. *Zootaxa*. 4731(2): 151-192
- Schmidt, S., Hathorne, E., & Schönfeld, J. (2021). Heavy metal incorporation into benthic foraminifera—A culturing study.
- Schultze, M. J. S. (1854). Über den Organismus der Polythalamien (Foraminiferen), nebst Bemerkungen über die Rhizopoden im allgemeinen. *Ingelmann, Leipzig*. 1-68., page(s): p. 40 pl. 2 fig. 2.
- Schwager, C. (1866). Fossile Foraminiferen von Kar Nikobar. *Reise der Österreichischen Fregatte Novara um die Erde in den Jahren 1857, 1858, 1859 unter den Befehlen des Commodore B. von Wüllerstorff-Urbair*. Geologischer Theil (Zweite Abtheilung, Paläontologische Mittheilungen) 2(2): 187-268.
- Terquem, O. (1875). *Essai sur le classement des animaux qui vivent sur le plage et dans les environs de Dunkerque (premier fascicule)*. Paris. page(s): p. 20, pl. 2, figs. 2a, b.