



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**OSTRACODES DA FORMAÇÃO PIRABAS (OLIGO-  
MIOCENO), PLATAFORMA BRAGANTINA, MUNICÍPIO DE  
VIGIA, NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ, BRASIL**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**BIANCA DA SILVA FURTADO**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Anna Andressa Evangelista Nogueira**

---

**BELÉM – PARÁ  
2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**OSTRACODES DA FORMAÇÃO PIRABAS (OLIGO-  
MIOCENO), PLATAFORMA BRAGANTINA, MUNICÍPIO DE  
VIGIA, NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ, BRASIL**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**BIANCA DA SILVA FURTADO**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Anna Andressa Evangelista Nogueira**

---

**BELÉM – PARÁ  
2024**

**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)**

---

F992o Furtado, Bianca da Silva.  
Ostracodes da Formação Pirabas (Oligo-Mioceno), Plataforma  
Bragantina, município de Vigia, nordeste do estado do Pará, Brasil  
/ Bianca da Silva Furtado. — 2024.  
xiii,52 f. : il. color.

Orientador(a): Profª. Dra. Anna Andressa Evangelista Nogueira  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia,  
Belém, 2023.

1. Ostracodes. 2. Formação Pirabas. 3. Fossa Vigia-Castanhal. I.  
Título.

CDD 595.33

---



**Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Faculdade de Geologia**

**OSTRACODES DA FORMAÇÃO PIRABAS (OLIGO-  
MIOCENO), PLATAFORMA BRAGANTINA, MUNICÍPIO DE  
VIGIA, NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ, BRASIL**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por  
BIANCA DA SILVA FURTADO**

**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Bacharel em Geologia, Linha de pesquisa:  
Micropaleontologia**

**Data da aprovação: 21 / 12 / 2023**

**Banca Examinadora:**

**Prof<sup>ª</sup>. Dra. Anna Andressa Evangelista Nogueira  
(Orientadora – UFPA)**

**Prof. Dr. Joelson Lima Soares  
(Membro – UFPA)**

**Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Inês Feijó Ramos  
(Membro – Museu Paraense Emílio Goeldi – MCT/CCTE)**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências e à Faculdade de Geologia por tornarem possível esta jornada acadêmica, por proporcionarem um ambiente acadêmico estimulante e propício ao aprendizado, e acesso à educação superior de qualidade.

À minha orientadora, Prof. Dra. Anna Andressa Nogueira, pela orientação excepcional, por todo conhecimento compartilhado, pela compreensão e apoio incansável, e por não ter desistido de mim quando eu pensei em desistir. Obrigada por todo o incentivo, por estar sempre disposta a ajudar, pela enorme paciência, carinho, dedicação desde o começo do projeto e pela gentileza em disponibilizar caronas e almoços durante os longos dias de laboratório.

À minha família, tias, tios, primos e avô, e àqueles que já partiram, minha mãe, irmão e avô, por todo amor, apoio, ensinamentos repassados, vivências compartilhadas e por sempre me estimularem a estudar e me esforçar.

Ao meu melhor amigo e namorado, Matheus, que me acompanhou ao longo de todo o meu percurso acadêmico. Agradeço por toda ajuda, compreensão, incentivo, paciência e por ter sido meu porto seguro nos momentos mais desafiadores. Obrigada por ter me aguentado nos momentos ruins e não ter me deixado desistir.

Ao GSed, e aos laboratórios de Sedimentologia e Catodoluminescência, cruciais para a realização das análises desta pesquisa; e ao corpo técnico, pelo auxílio prestado.

A CPRM – Belém, por disponibilizar as amostras do trabalho e o acesso ao MEV. Essa colaboração foi de suma importância para a pesquisa.

Aos professores da faculdade de geologia e outras faculdades, por todo o conhecimento compartilhado. E principalmente àqueles que me incentivaram a continuar a minha jornada.

Aos colegas da minha turma, e principalmente aos meus amigos Matheus, Jéssica, Fransuá, Fernanda, Débora e João Vicente, e àquelas que seguiram caminhos diferentes, Liuzelí e Suzanny, agradeço por compartilharem essa trajetória, pelos momentos de aprendizado, companheirismo e amizade que levarei para toda a vida.

Aos amigos e colegas de laboratório, em especial a Laura Garzón, pela paciência, disponibilidade em ajudar e pelos ensinamentos durante o trabalho.

*“A vida não é fácil para nenhum de nós. Temos que ter persistência e, acima de tudo, confiança em nós mesmos.”*

*(Marie Curie)*

## RESUMO

O presente estudo auxilia no reconhecimento da presença de depósitos neógenos provenientes da Plataforma Bragantina na porção mais a oeste, embora ainda apresente divergências em estudos anteriores quanto aos limites, principalmente, entre esta plataforma e a Bacia do Marajó. Trinta amostras foram obtidas e analisadas do furo de calha P12 Vigia - VN, município de Vigia, localizado próximo à Fossa Vigia-Castanhal, no Pará. Nestas amostras, 74 espécies de ostracodes foram identificadas para estudo paleoambiental e bioestratigráfico, visando reconhecer a presença da Plataforma Bragantina mais a oeste, nos limites da Fossa Vigia-Castanhal. Conforme as análises multivariadas (Cluster e SIMPER) foi possível estabelecer três biofácies para as quais foram interpretados os seguintes paleoambientes: ambiente de transição (B1), laguna (B2), e plataforma marinha próxima à costa (B3). Os índices de diversidade permitiram observar uma maior diversidade e abundância nos intervalos inferiores da seção estudada, na biofácies B3, com redução gradativa em direção à porção superior da seção, onde ocorrem as biofácies B1 e B2. Isto é refletido também nos valores de índices de Simpson, riqueza de espécies ou Taxa (S), Shannon (H'), Alpha-Fisher ( $\alpha$ ), e equitabilidade (J), onde seus máximos valores indicam condições neríticas (intervalos entre 142 m a 162 m de profundidade, na base da seção estudada) e mínimos valores indicam condições mais salobras de ambientes de transição a lagunar (entre 100 m a 140 m de profundidade). Estudos prévios relacionados aos paleoambientes dos gêneros observados, junto às litologias dentro do perfil, permitiram inferir uma gradativa influência clástica no preenchimento sedimentar da base para o topo da seção. O biozoneamento previamente estabelecido para outras localidades da Formação Pirabas revelou neste estudo, uma biozona e duas sub-biozonas regionais e globais ao longo da seção: 1 – a biozona *Cytherella stainforthi* (Neo-Oligoceno-Eomioceno); 2 – a sub-biozona *Quadracythere brachypygaia* (Neo-Oligoceno) e; 3 – a sub-biozona *Neocaudites macertus* (Eomioceno). Estes resultados permitiram melhor compreender a extensão dos limites mais a oeste da Plataforma Bragantina com a Fossa Vigia-Castanhal, e as espécies de ostracodes identificadas aqui ampliam o conhecimento relacionado ao zoneamento destes microfósseis na região, estendendo a ocorrência dos depósitos relacionados à Formação Pirabas mais para a porção oeste da Plataforma Bragantina, além do melhor posicionamento desta plataforma e de suas unidades limítrofes a oeste.

**Palavras-chave:** ostracodes; Formação Pirabas; Fossa Vigia-Castanhal.

## ABSTRACT

This study helps the understanding of the presence of neogene deposits provenient from the Bragantina Platform's westernmost portion, although it still presents disagreements from previous studies about the limits, primarily, between this platform and Marajó Basin. Thirty samples were obtained and analyzed from borehole P12 Vigia - VN, from the Vigia County, near the Vigia-Castanhil Trough, in the state of Pará. Between these samples, 74 ostracode species were identified for paleoenvironmental, biostratigraphic studies with eyes to acknowledge the occurrence of Bragantina Platform in its westmost site, at the limits with the Vigia-Castanhil Trough. According to the multivariate analyses (Cluster and SIMPER), it was possible to establish three biofacies, for which the following paleoenvironments were interpreted: transitional environment (B1), lagoon (B2) and nearshore marine platform (B3). Diversity indices analysis showed greater diversity and abundance in the lower intervals of the studied section, at the biofacies B3, with a gradual reduction towards the top of the sequence, where biofacies B1 and B2 occur. This is also reflected in the values of Simpson, species abundance or Taxa (S), Shannon (H'), Alpha-Fisher ( $\alpha$ ) and equitability (J) indices, where their maximum values indicate neritic conditions (depth intervals from 142 meters to 162 meters, towards the bottom of the section) and minimum values indicate brackish conditions from transitional and lagoon environments (100 meters to 140 meters depth). Previous studies related to the observed genera paleoenvironments, together with the lithologies within the profile, allowed to infer an increasingly clastic influence on the sedimentary input from the base to the top of the sequence. The previously established biozonation from other localities of the Pirabas Formation revealed in this research one biozone and two sub-biozones, regional and global, along the section: 1 – the *Cytherella stainforthi* biozone (Neo-Oligocene-Eomiocene); 2 – the *Quadracythere brachypygaia* sub-biozone (Neo-Oligocene) and; 3 – the *Neocaudites macertus* sub-biozone (Eomiocene). These results allowed a better comprehension of westernmost limits extension between Bragantina Platform and the Vigia-Castanhil Trough, and the identified ostracode species will expand the knowledge related to these microfossils zonation in the region, extending further the occurrence of the Pirabas Formation associated deposits at the western portion of the Bragantina Platform, in addition to the better positioning of this platform and its bordering units to the west.

**Keywords:** ostracods; Pirabas Formation; Vigia-Castanhil Trough.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização do furo de calha P12 Vigia - VN nas proximidades do município de Vigia e geologia regional das bacias da costa nordeste do estado do Pará. ....	3
Figura 2- Perfil estratigráfico do furo P12 Vigia - VN com suas respectivas litologias e amostras férteis (círculos azuis) e área infértil. Fonte: Modificado de Rojas <i>et al.</i> (2022). ....	6
Figura 3- Contexto tectônico da região nordeste do estado do Pará, com destaque na Plataforma Bragantina. Fonte: Amorim (2016) modificado de Costa <i>et al.</i> 2002), Soares Jr <i>et al.</i> (2008). ....	10
Figura 4- Mapa de localização, geologia regional das bacias da costa nordeste do Brasil e seu respectivo perfil. Fonte: Modificado de Nogueira <i>et al.</i> (2021). ....	11
Figura 5- Carta litoestratigráfica da Plataforma Bragantina, no contexto do nordeste do estado do Pará, em correlação com as unidades apresentadas. Fonte: Rossetti (2001), Rossetti <i>et al.</i> (2013). ....	13
Figura 6- Valva esquerda em vista interna, mostrando os principais elementos estruturais. Fonte: Modificado de Armstrong & Brasier (2005). ....	17
Figura 7- Distribuição ambiental e abundância relativa em cada ambiente. Fonte: Modificado de Armstrong & Brasier (2005). ....	18
Gráfico 1- Abundância de carapaças por intervalo amostrado do furo de calha P12 Vigia - VN. Os círculos vermelhos indicam os intervalos com as maiores quantidades de espécimes. ....	21
Gráfico 2- Número de carapaças e valvas por intervalo amostrado. ....	22
Gráfico 3- A) Porcentagem da razão de carapaças/valvas; B) Número de carapaças fragmentadas/quebradas por intervalo amostrado. ....	22
Gráfico 4- Índice de Simpson feito a partir dos dados obtidos das amostras do perfil P12 Vigia - VN. ....	25
Gráfico 5- Índice de diversidade de Alpha-Fisher (alpha) (à esquerda) e Shannon (H') (à direita) do furo de calha P12 Vigia - VN. ....	26
Gráfico 6- Riqueza de Espécies (S) por espécimes (à esquerda) e Índice de Equitabilidade (J) exponencial por espécimes (à direita) do furo de calha P12 Vigia - VN. ....	27
Figura 8- Dendrograma resultante da análise de cluster, baseado na abundância relativa de ostracodes do presente estudo. ....	34
Figura 9- NMDS conforme a análise de agrupamento baseado em ostracodes na seção estratigráfica P12 Vigia - VN. ....	35

- Figura 10- Perfil litoestratigráfico dos níveis fossilíferos da localidade P12 Vigia - VN (Formação Pirabas) integrando indicadores paleoambientais como abundância relativa, presença e ausência de espécies, e diversidade e interpretação paleoambiental com associação de fácies.....36
- Figura 11- Intervalos estratigráficos e biozoneamento do furo de calha P12 Vigia - VN provenientes da localidade de Vigia do Oligo-Mioceno da Formação Pirabas. ....38

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Número de espécimes por espécie nos intervalos amostrados do furo de calha P12 Vigia - VN.....	24
Tabela 2- Biofácies identificadas ao longo da seção estratigráfica P12 Vigia - VN conforme a análise de cluster, grupo de espécies dominantes conforme a análise de SIMPER, descrição litológica e ambientes.....	31

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>EPIÍGRAFE</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	2
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	4
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
<b>1.5.1 Coleta e preparação das amostras</b> .....	5
<b>1.5.2 Triagem do material estudado</b> .....	6
<b>1.5.3 Ilustrações, identificação e classificação taxonômica</b> .....	6
<b>1.5.4 Análise quantitativa e qualitativa</b> .....	7
<b>1.5.5 Análises multivariadas: índices de diversidade, similaridade e distância</b> .....	7
<b>2 GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	9
2.1 CONTEXTO TECTÔNICO E GEOLÓGICO .....	9
2.2 PLATAFORMA BRAGANTINA.....	10
<b>2.2.1 Formação Pirabas</b> .....	12
<b>3 OSTRACODES</b> .....	16
3.1 TRABALHOS ANTERIORES REFERENTES AOS OSTRACODES NA FORMAÇÃO PIRABAS .....	19
<b>4 RESULTADOS</b> .....	21
4.1 TAXONOMIA .....	21
4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA .....	21
<b>5 DISCUSSÕES</b> .....	28
5.1 ASPECTOS PALEOAMBIENTAIS E PALEOECOLÓGICOS .....	28
<b>5.1.1 Biofácies</b> .....	31
5.2 ASPECTOS BIOESTRATIGRÁFICOS .....	37

<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	39
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42
<b>ANEXO A – LISTA SISTEMÁTICA</b> .....	51
<b>ANEXO B – PLATE 1</b> .....	60
<b>ANEXO C – PLATE 2</b> .....	61
<b>ANEXO D – PLATE 3</b> .....	62

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Durante o Neógeno, a região costeira da Amazônia Oriental foi demarcada por uma série de eventos regressivos-transgressivos associados à subsidência tectônica provocados por oscilações glaciais e tectono-eustáticas mundiais, onde a Formação Pirabas é uma das unidades resultantes destes eventos, durante a transição Oligoceno-Mioceno, repercutindo na diversificação biótica de seus paleoambientes (Góes & Truckenbrodt 1980, Rossetti *et al.* 1990, Rossetti 2001, Rossetti *et al.* 2013, Nogueira *et al.* 2013, Van Soelen *et al.* 2017, Albert *et al.* 2018, Alvim *et al.* 2021).

No nordeste do estado do Pará, os registros destes eventos são encontrados tanto nos depósitos carbonáticos e siliciclásticos na Plataforma Bragantina e no sistema de grábens (NW-SE) da Bacia do Marajó, denominados de Formação Pirabas (Oligo-Mioceno) e Formação Marajó (Oligo-Mioceno), respectivamente (Costa *et al.* 2002, Rossetti 2006, Zalán & Matsuda 2007, Soares Jr. *et al.* 2008, Moizinho *et al.* 2022).

A Formação Pirabas recobre grande parte do nordeste do estado do Pará, sendo composta por estratos carbonáticos-siliciclásticos depositados em ambientes transicionais a ambientes de plataforma marinha rasa e sobrepostos por sistemas estuarinos da Formação Barreiras (Góes *et al.* 1990, Rossetti & Góes 2004, Rossetti 2006, Costa 2011). É caracterizada por ser a unidade neógena mais fossilífera do Brasil, em que é conhecida uma rica paleoflora (Leite 1997), uma variedade de fósseis de invertebrados (Maury 1925, Ferreira & Cunha 1959), microfósseis (Petri 1952, 1957, Macedo 1970-1972, 1977, 1981, 1983b, 1985, 1988, Ferreira *et al.* 1978, Fernandes 1988, Távora 1994a, b, c, 1998) e diversos grupos de vertebrados como peixes (Santos & Travassos 1960), crocodilianos (Toledo *et al.* 1997) e sirênios (Toledo & Domning 1989).

Os ostracodes, somados aos foraminíferos, são os microfósseis mais abundantes e diversos na Formação Pirabas, apresentando um dos raros registros da microfauna marinha miocênica da região costeira do Brasil (Ramos *et al.* 2004, Nogueira *et al.* 2019). Embora haja muitas pesquisas relacionadas a estes microcrustáceos nesta formação (Macedo 1970, 1971, 1977, 1981, Távora 1992, 1994a, b, c, 1998, Távora *et al.* 2001a, b, Nogueira *et al.* 2011, Nogueira & Ramos 2016, Nogueira & Nogueira 2017, Nogueira *et al.* 2019), ainda há

necessidade de mais estudos específicos e de revisão sistemática desta ostracofauna diversa e abundante.

Este grupo é conhecido como microcrustáceos que na sua maioria são organismos bentônicos altamente influenciados pelos fatores físico-químicos, tendo uma relação intrínseca com o substrato. Desta forma, são utilizados também como fonte de dados em pesquisas paleoceanográficas através da relação entre as mudanças nas suas assembleias e nas características paleoecológicas. Além disso, apresenta uma aplicabilidade em estudos bioestratigráficos e evolutivos das unidades sedimentares, devido sua ampla irradiação adaptativa ao longo do tempo geológico (Bergue 2006, Ramos *et al.* 2004).

No presente projeto, desenvolveu-se o estudo dos ostracodes neógenos provenientes da Formação Pirabas, coletados do furo de calha denominado P12 Vigia - VN, no município de Vigia, contribuindo para interpretações paleoambientais e bioestratigráficas, baseado na classificação taxonômica e identificação das espécies-guia de ostracodes, o que permitiu uma melhor correlação com outros depósitos de unidades cronocorrelatas da região do Caribe e da Amazônia Oriental, bem como da porção mais leste da Formação Pirabas (Plataforma Bragantina), estudos fósseis provenientes da Formação Marajó (Bacia do Marajó) e sedimentos mais recentes da Margem Equatorial brasileira. Esses dados irão também auxiliar nas correlações laterais, fundamentais para o entendimento e organização das bacias sedimentares e seus processos deposicionais no norte do Brasil.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região norte do Brasil, nordeste do estado do Pará (figura 1), no município de Vigia. As amostras estudadas pertencem ao furo de calha P12 Vigia - VN (0°51'14"; 48°08'23,5") de aproximadamente 160 m, cedidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM/Serviço Geológico do Brasil - SGB). O acesso à área se dá por via terrestre, partindo de Belém pela rodovia BR-316 até o município de Santa Izabel do Pará, onde se acessa a rodovia PA-140, e em seguida a rodovia PA-412 até o município de Vigia.

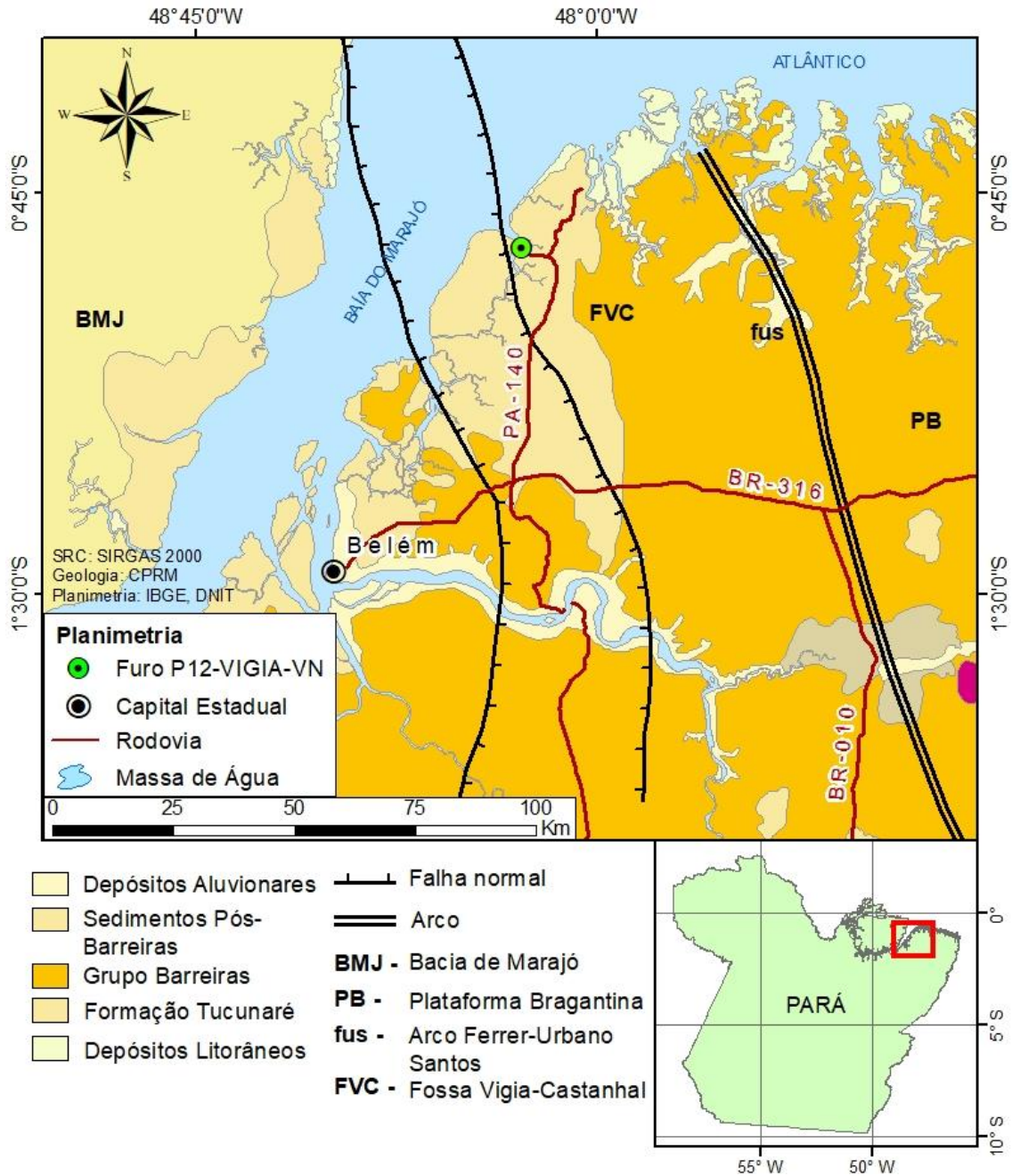


Figura 1- Mapa de localização do furo de calha P12 Vigia - VN nas proximidades do município de Vigia e geologia regional das bacias da costa nordeste do estado do Pará.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Ainda há muitos questionamentos a respeito dos limites de extensão entre a Bacia do Marajó e Plataforma Bragantina na região nordeste do estado do Pará, onde os depósitos neógenos vêm sendo reconhecidos nas últimas décadas como Formação Pirabas (figura 2). Alguns autores anteriores afirmaram que os limites geológicos da Bacia do Marajó e a Plataforma Bragantina são separados pela Plataforma Pará, a qual é interceptada pela Fossa Vigia-Castanhal, estando localizada em ambos os lados desta fossa. Esta plataforma é uma área

pouco estudada que faz parte da porção leste da Ilha do Marajó, estendendo-se costa afora (Rossetti & Góes 2004).

Estudos mais recentes afirmam que a Plataforma Pará é, portanto, parte da margem oriental da Bacia do Marajó, incluindo a Fossa Vigia-Castanhal até a NW-SE que é o limite W da Plataforma Bragantina (Nogueira *et al.* 2021), incluindo dados de proveniência (Moizinho *et al.* 2022). Essa complexidade se deve também à própria ausência de informações biocronoestratigráficas mais detalhadas da Formação Marajó (Bacia do Marajó) na região onde foram realizados os primeiros estudos com microfósseis por Petri (1952), que se baseou em foraminíferos. Neste estudo foi estabelecido que os depósitos do Mioceno na região próxima de Belém pertenciam à Formação Marajó, e que a Fossa de Marajó e a "Bacia Pirabas", como chamada anteriormente, tinham uma relação incerta, provavelmente associada às falhas.

Com relação aos estudos de ostracodes nesta porção da região, embora muito conhecida pelo seu rico conteúdo microfossilífero (Petri 1952, Rojas *et al.* 2022) ainda não há um reconhecimento das espécies ocorrentes e de sua distribuição estratigráfica na porção mais oeste da Plataforma Bragantina próximo à Fossa Vigia-Castanhal, onde se localiza o furo P12 Vigia - VN do presente estudo, conforme os novos limites estabelecidos por Nogueira *et al.* (2021).

O estudo de ostracodes nesta localidade, portanto, contribuirá no levantamento de novos *insights* para aplicações na reconstrução paleoambiental e bioestratigrafia na Formação Pirabas, o que permite correlacionar os seus ciclos paleoambientais aos bioeventos a nível regional e global durante o Cenozoico, possibilitando o estabelecimento de correlações laterais, fundamentais para o entendimento e organização das bacias sedimentares e seus processos deposicionais no norte do Brasil.

#### 1.4 OBJETIVOS

O principal objetivo do projeto é o levantamento taxonômico dos gêneros e espécies de ostracodes da porção mais oeste da Plataforma Bragantina, Formação Pirabas, visando definir o contexto paleoambiental e paleoecológico na área, e auxiliar na definição dos limites geográficos dos depósitos neógenos entre a Plataforma Bragantina e a Bacia do Marajó. Os objetivos específicos são:

1. Identificar as espécies de ostracodes presentes ao longo do furo de calha P12 Vigia - VN, para fins de reconstruir os paleoambientes com base nos parâmetros paleoecológicos;

2. Verificar a distribuição estratigráfica dos gêneros e espécies com o intuito de caracterizar as variações dos ciclos paleoambientais;
3. Delimitar biofácies com base na distribuição dos táxons ao longo da sessão analisada nesta localidade e comparar com estudos prévios;
4. Comparar o biozoneamento previamente estabelecido para a unidade, segundo Nogueira & Nogueira (2017), com base nos ostracodes, para a porção mais oeste da Formação Pirabas, e relacioná-lo ao biozoneamento internacional de foraminíferos de Blow (1969) e Wade *et al.* (2011), e relacioná-los aos parâmetros paleoambientais e paleoecológicos, a fim de possibilitar uma melhor compreensão do contexto paleoambiental da Formação Pirabas mais para porção oeste da Plataforma Bragantina;
5. Auxiliar no refinamento dos limites geográficos entre as unidades litoestratigráficas da Plataforma Bragantina e da Bacia do Marajó.

## 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.5.1 Coleta e preparação das amostras

As amostras utilizadas no presente trabalho foram coletadas ao longo do furo P12 Vigia - VN, localizado no município de Vigia, e cedidas pela CPRM-Belém. Foram selecionadas 30 amostras (figura 2) para triagem, que foram tratadas a partir da metodologia usual para microfósseis calcários de Mesquita (1995). O tratamento das amostras, neste trabalho, foi realizado no Laboratório de Sedimentologia da UFPA seguindo as etapas seguintes:

- Separou-se 180g de cada amostra, as quais foram acondicionadas em béqueres de vidro devidamente identificados;
- Para a diluição, foram adicionados peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 130 volumes a 10% nas amostras até cobri-las totalmente e álcool etílico a 90%, para o controle da reação química, evitando assim o transbordamento e o risco de contaminação entre as amostras;
- Após o ataque de peróxido, lavou-se as amostras com água destilada, sendo que para evitar a perda de material foi usado o método de decantação, retirando-se o excesso de água na superfície após 12 h, e o material lavado foi colocado em estufa a 100 °C por 24 horas para secagem;
- Após secas, as amostras foram peneiradas em malhas de 1mm e 0,063 mm.
- As amostras, então, foram pesadas em balança eletrônica de alta precisão, sendo acondicionadas em pequenos sacos plásticos.



dupla face de carbono e encaminhadas para a metalização com Au por 2'30". As imagens de elétrons secundários foram obtidas no Laboratório da CPRM - Belém. O equipamento utilizado foi o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) no modelo LS15-Zeiss do LAMIN-BE. Os *stubs* foram metalizados com película de ouro de aproximadamente 5 micrômetros de espessura para obter imagens em condições de vácuo ( $3,0 \times 10^{-5}$  mPa) a uma distância de 12 mm, com voltagem de 10 Kv e corrente de 20 pA.

As fotografias obtidas auxiliaram no processo de identificação e classificação taxonômica dos exemplares. Para a classificação sistemática dos ostracodes foram utilizados Liebau (2005) e Moore (1962) e bibliografias especializadas, bem como teses de dissertações, doutorados, monografias, artigos científicos, livros, etc.

#### **1.5.4 Análise quantitativa e qualitativa**

A análise quantitativa e qualitativa das amostras obtidas foi realizada através da contagem dos espécimes de cada espécie, sendo valvas ou carapaças, nas diferentes amostras. As análises foram feitas a fim de utilizar princípios estatísticos para melhor compreender as condições paleoecológicas e paleoambientais a que estavam submetidos. Foram utilizadas as seguintes convenções:

X: abundante, mais de 20 espécimes

O: comum, 5-20 espécimes

#: raro, 2-5 espécimes

/: 1 único espécime

#### **1.5.5 Análises multivariadas: índices de diversidade, similaridade e distância**

Os dados analisados neste trabalho são multivariados, com as variáveis em colunas fornecidos como uma matriz simétrica de similaridade/distância e computados automaticamente em módulos como *Non-Metric Multidimensional Scaling* (NMDS), Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) e *Similarity Percentage* (SIMPER) no Past 4.14 (PAST - *PA*laeontological *ST*atistics).

A Análise de *Cluster* foi baseada no método *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* - UPGMA, utilizando os coeficientes de similaridade distância Bray-Curtis, um dos mais utilizados em estudos ecológicos (Bray & Curtis 1957, Clarke & Warwick 1994).

O UPGMA calcula as distâncias ou semelhanças médias entre uma unidade de paisagem (UP) e cada uma das outras UP, que recebem todas o mesmo peso, sendo a matriz (de distância ou semelhança) atualizada e reduzida em cada fase do algoritmo. Trata-se, portanto, de uma estratégia aglomerativa (*bottom-up*) (Legendre & Legendre 2012).

O Método de Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) tenta representar a dissimilaridade entre objetos num espaço de baixa dimensão, ao contrário de outros métodos que tentam maximizar a correspondência entre objetos numa ordenação. Este método é uma abordagem baseada em classificações, o que significa que os dados de distância originais são substituídos por classificações. A leitura dos gráficos NMDS é bastante simples: os objetos que estão ordenados mais próximos uns dos outros são provavelmente mais semelhantes do que os que estão mais afastados. No entanto, a escala dos eixos é arbitrária, tal como a orientação do gráfico (Kenkel & Orlóci 1986).

O SIMPER (Porcentagem de Similaridade) é um método simples para avaliar quais os táxons que são os principais responsáveis por uma diferença observada entre grupos de amostras (Clarke 1993). Este teste estatístico consiste em compreender quais as espécies que controlam a alteração da comunidade. Os métodos utilizados aqui têm sido aplicados em trabalhos para avaliar as amostragens provenientes de rochas e sedimentos antigos (Soulimane *et al.* 2020, Sayed *et al.* 2022).

Também foram utilizados índices de diversidade, tais como Alpha-Fisher, Simpson (1-D), Riqueza de Espécies (Taxa S), Shannon (H') e Equitabilidade (J), calculados a partir do mesmo programa. Por exemplo, o índice de Simpson foi usado para avaliar a diversidade taxonômica de cada amostra, pois este método tem se mostrado útil, assim como os outros índices citados anteriormente, em estudos de ostracodes por ser relativamente insensível ao tamanho da amostra (Magurran 2021, Morris *et al.* 2014, Huang *et al.* 2018).

## 2 GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 CONTEXTO TECTÔNICO E GEOLÓGICO

A sedimentação oligo-miocênica que deu origem à sequência Pirabas-Barreiras teve um forte controle estrutural, estando relacionada com a complexidade dos processos sobrepostos (Nogueira *et al.* 2021). No nordeste do Pará, a Plataforma Bragantina e o sistema de grábens Marajó foram formados durante a abertura do Atlântico Equatorial que controla as ocorrências desta sequência siliciclástico-carbonática (Rossetti & Goés 2004, Nogueira *et al.* 2021). Os sedimentos neógenos na Amazônia Oriental representam ciclos transgressivos e regressivos depositados numa bacia alongada na direção NW-SE. Esta bacia é preenchida pela sequência carbonática (Formação Pirabas) e por depósitos siliciclásticos regressivos (Formação Barreiras), com substancial controle estrutural das falhas normais e transcorrentes NW-SE e NE-SW (Rossetti & Goés 2004).

O tectonismo na região, portanto, é um processo em regime de transcorrência, cujas estruturas principais apresentavam direção NE-SW e transpassadas por falhas normais E-W e NW-SE (figura 3), com continuidade até o recente (Hasui 1990). Esses esforços resultaram na reativação de falhas pré-existentes e, conseqüentemente, na retomada da sedimentação após um prolongado intervalo de tempo de cerca de 40 milhões de anos. Com isto, a sucessão miocênica desenvolveu-se sob condições de forte controle tectônico, com o estabelecimento de vales incisivos que se encaixam ao longo de zonas de falhas. Da mesma forma, na Zona Bragantina, os mergulhos deposicionais dominantes são para NE-SW, sugerindo paralelismo do sistema deposicional com os feixes transcorrentes (Rossetti *et al.* 2004, Rossetti & Góes 2004, Rossetti 2006).

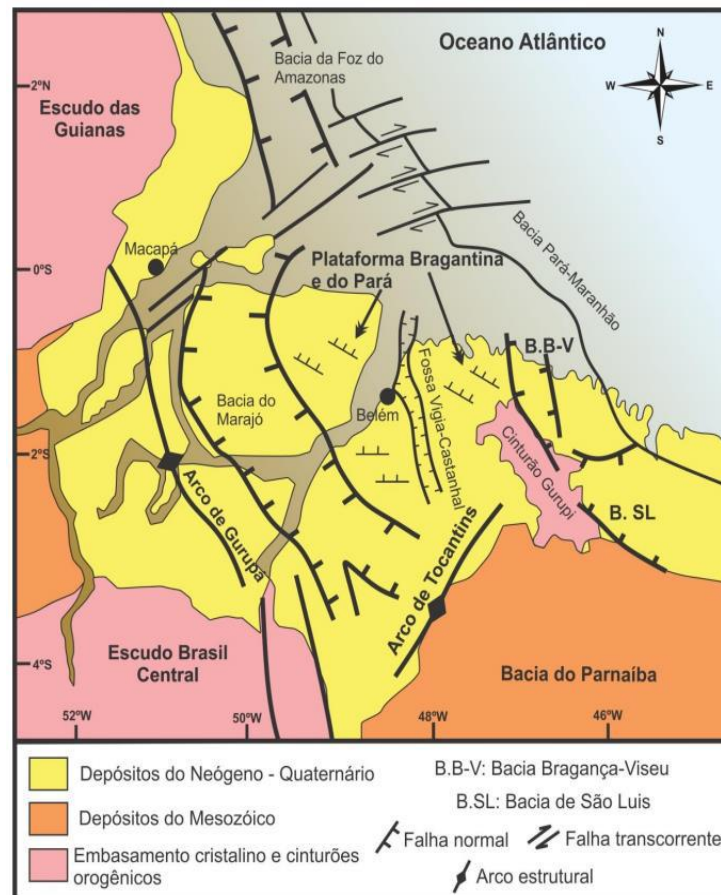


Figura 3- Contexto tectônico da região nordeste do estado do Pará, com destaque na Plataforma Bragantina. Fonte: Amorim (2016) modificado de Costa *et al.* 2002), Soares Jr *et al.* (2008).

## 2.2 PLATAFORMA BRAGANTINA

A partir do Cenozoico, a instabilidade tectônica da região nordeste do Pará foi suprimida. Deste modo, a Plataforma Bragantina corresponde à extensa área do embasamento que permaneceu tectonicamente estável entre as bacias sedimentares (Vasquez *et al.* 2008) e tem atualmente sido estendida até as proximidades da Falha Vigia-Castanhal (Nogueira *et al.* 2021) (figura 4). A Plataforma Bragantina corresponde à área plana limitada entre a Bacia Pará-Maranhão ao norte, Bacia Bragança-Viseu a leste, Cinturão Gurupi mais ao sul, Bacia do Marajó a oeste, e está localizada bem próxima da Fossa Vigia-Castanhal (figura 4).

A deposição sobre a Plataforma Bragantina consiste exclusivamente em depósitos cenozoicos formados a partir do Oligo-Mioceno, que atingem espessuras, em geral, inferiores a 60 m (Rossetti 2006) denominados de Formação Pirabas, Formação Barreiras e a unidade Pós-Barreiras (figura 4). Esta plataforma foi um excelente local de deposição de carbonatos oligocênicos-miocênicos no norte do Brasil (figura 4). Trabalhos anteriores indicam que a plataforma carbonática da Formação Pirabas é relacionada a um evento transgressivo sucedido

por um evento regressivo relacionado com o influxo siliciclástico da Formação Barreiras, registrando eventos transgressivo-regressivos e subsequentes exposições subaéreas quando se desenvolveram perfis lateríticos (Rossetti *et al.* 2001, 2013, Nogueira *et al.* 2021).

A seção estudada neste trabalho situa-se nas proximidades da Calha Vigia-Castanhal, no município de Vigia (figura 4), apresentando aproximadamente 160 m de profundidade, e no limite entre a Plataforma Bragantina e Bacia do Marajó (Nogueira *et al.* 2021, Moizinho *et al.* 2022). Os níveis representativos da Formação Pirabas compreendem principalmente rochas calcárias (porções em subsuperfícies). Em contraste, as camadas superiores, que constituem as falésias, correspondem aos depósitos siliciclásticos da Formação Barreiras (porção mais baixa). Vários aspectos mudaram relativamente às relações estratigráficas destas duas unidades, tais como a hipótese de interdigitação destes estratos e a influência da sedimentação de Barreiras na cessação da deposição de carbonatos (Góes *et al.* 1990).

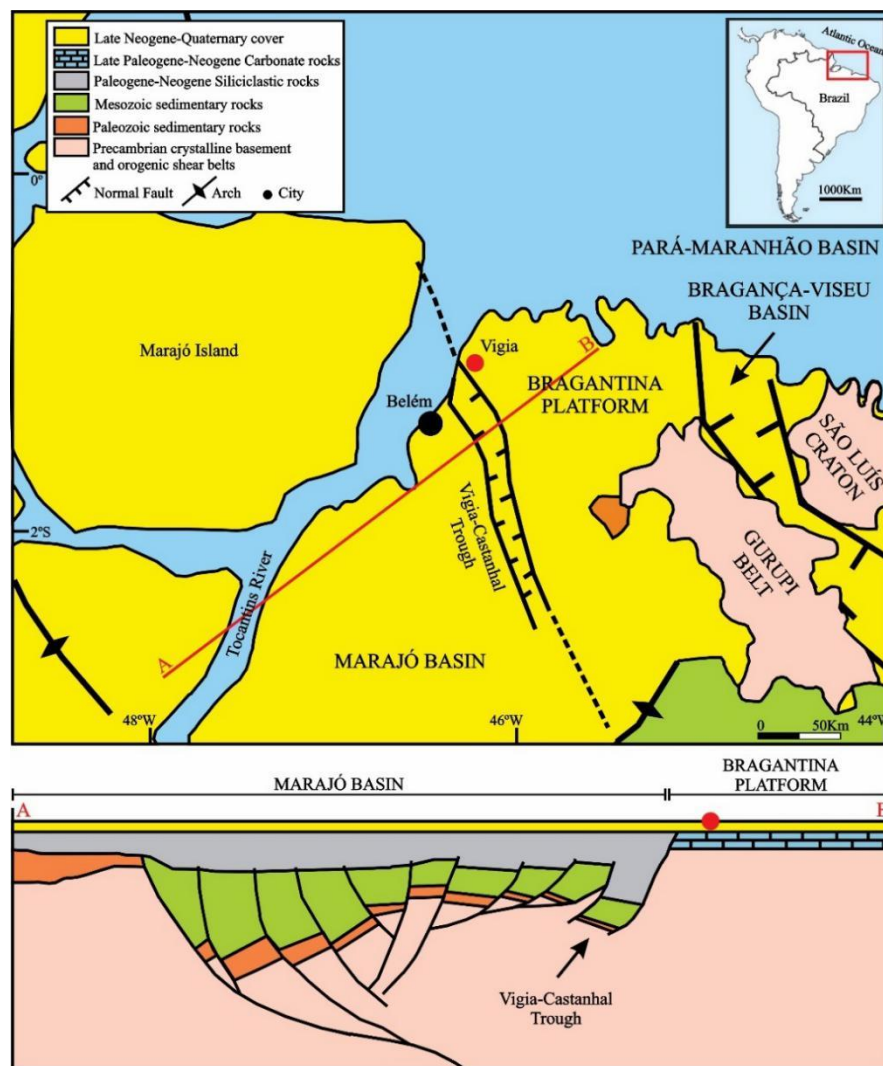


Figura 4- Mapa de localização, geologia regional das bacias da costa nordeste do Brasil e seu respectivo perfil. Fonte: Modificado de Nogueira *et al.* (2021).

### 2.2.1 Formação Pirabas

Os depósitos carbonáticos do Oligoceno/Mioceno Inferior na Amazônia Oriental correspondem à Formação Pirabas (Maury 1925), e foram depositados em um ambiente marinho de salinidade normal, águas translúcidas de pouca profundidade e que abrigou uma fauna que antecede ao colapso do carbonato biogênico pelos grandes fluxos de sedimentação siliciclástica tipo deltaica da Amazônia e da margem continental (Wolff 1984, Damuth & Kumar 1975, Brandão & Feijó 1994, Figueiredo *et al.* 2009), pelos terrígenos aluviais oriundos dos Andes (Hoorn *et al.* 2017) capturados essencialmente na subsidência da região do Marajó, e em consequência da progradação da Formação Barreiras (Rossetti *et al.* 2013, Aguilera *et al.* 2017).

Ao longo da costa norte do Brasil, a Formação Pirabas foi depositada em plataformas e grábens influenciada por expressivas transgressões durante o Mioceno que modificaram profundamente as áreas continentais marginais (figura 5). Na maioria, os segmentos tectônicos subsidentes e os paleovales encaixados ao longo de zonas de falhas normais e falhas transcorrentes, funcionam como zonas de transferências ligadas ao evento de separação da América do Sul - África (Costa *et al.* 1993). O desenvolvimento deste cenário foi crucial para a preservação de grande parte do registro sedimentar, utilizado na reconstrução da história geológica do Mioceno (Rossetti & Góes 2004, Rossetti 2006).

A Formação Pirabas consiste em calcários cinzentos de composição variável intercalados com calcarenitos, margas e folhelhos negros (figura 5), inicialmente descritos por Ferreira Penna (1876). Aflora numa área de 12.000 km<sup>2</sup> (Urduinea 1978) e a distribuição irregular dos seus registros reflete a paleogeografia, a evolução tectônica e os processos erosivos durante o Quaternário, com um intervalo Neo-Oligoceno-Eomioceno para a deposição dos seus sedimentos. Quanto ao seu limite inferior, supõe-se que a maioria desta unidade se sobrepõe a um embasamento cristalino (Ferreira 1964). Góes *et al.* (1990) propõem a sua interdigitação com os sedimentos neógenos da Formação Barreiras, devido a análises estratigráficas e palinológicas. Lateralmente, a Formação Pirabas apresenta contatos graduais com os depósitos das formações Amapá e Marajó (Schaller *et al.* 1971). O paleoambiente da Formação Pirabas corresponde a uma plataforma *offshore* (*grainstones* e *packstones* consolidados, *wackestones* estratificados até *packstones*, e *mudstones* laminados). Em adição, ambientes litorâneos (*shoreface/foreshore*), lagoas marginais e plataformas restritas (*mudstones* cinzas a verde-oliva e *sandstones* conglomerados) e lagoas estuarinas de manguezal (*mudstones*

escuros, maciços ou laminados) (Góes *et al.* 1990, Rossetti 2001, Rossetti & Góes 2004, Rossetti *et al.* 2013, Aguilera *et al.* 2013a, b).

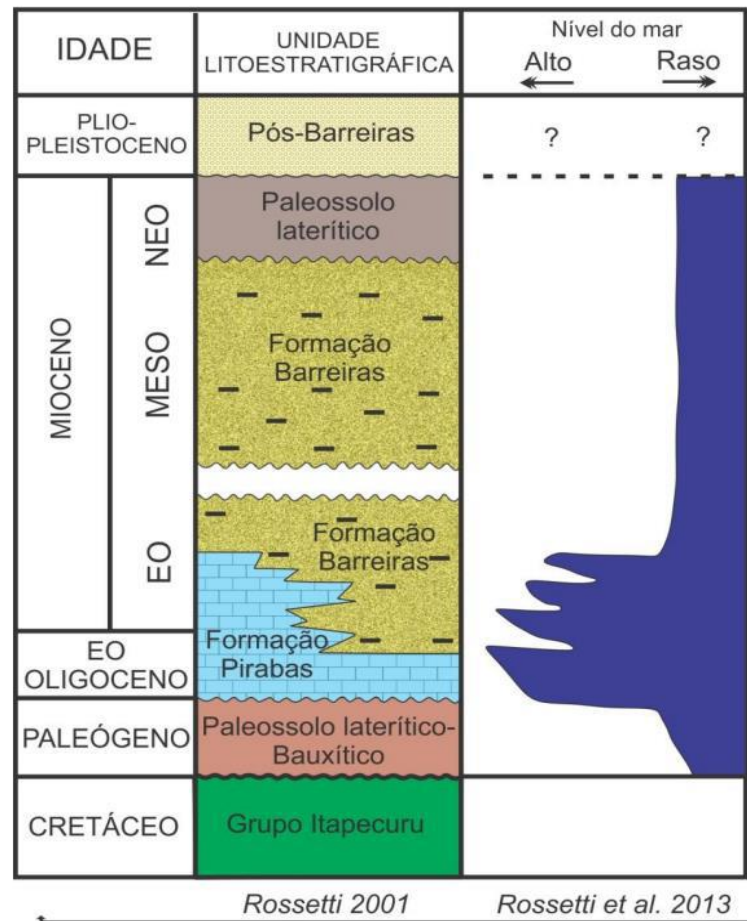


Figura 5- Carta litoestratigráfica da Plataforma Bragantina, no contexto do nordeste do estado do Pará, em correlação com as unidades apresentadas. Fonte: Rossetti (2001), Rossetti *et al.* (2013).

O conteúdo fossilífero da Formação Pirabas é variado, rico e abundante, sendo os fósseis desta unidade estudados pela primeira vez por Ferreira Penna (1876). As formas fósseis são típicas de ambientes marinhos específicos, permitindo uma caracterização mais poderosa do ponto de vista paleoambiental e paleoecológico. Assim, existem várias proposições formalizadas para a divisão faciológica da Formação Pirabas (por exemplo, Góes & Truckenbrodt 1980, Rossetti 2001, Aguilera & Pães 2012, Rossetti *et al.* 2013, Aguilera *et al.* 2020).

Ferreira (1966, 1980, 1982), Ferreira & Cassab (1985) e Ferreira & Francisco (1988) reconheceram três fácies ecológicas desta unidade nas localidades de Castelo, Baunilha Grande e Capanema. Para a ecofácies de Castelo, a interpretação sugere um ambiente marinho pouco profundo com salinidade normal (Petri 1957, Ferreira 1966, 1980, 1982, Ferreira & Cassab

1985, Ferreira & Francisco 1988), onde a biozona *Orthaulax pugnax* foi individualizada, correspondendo a uma paleofauna típica dos ambientes de recife. A ecofácies de Capanema foi depositada num ambiente lagunar e é constituída por margas, micritos, biocalcirruditos, folhelhos rítmicos, e arenitos calcários. A ecofácies de Baunilha Grande representa um ambiente típico de mangue, definido por calcários cinzentos escuros e argilas negras.

A partir de várias análises, foi proposto por Góes *et al.* (1990) que essas três ecofácies estão dispostas de forma interdigitada com sedimentação cíclica, mostrando oscilações no nível do mar e no fornecimento de sedimentos. Desta forma, foram descritas sete litofácies que ajudaram a identificar os diferentes subambientes deposicionais da Formação Pirabas: 1) biocalcirrudito, este tem uma grande diversidade faunística na qual os indivíduos se dispõem inteiros ou fragmentados; para além das suas diferentes dimensões, a sua estrutura é fechada, e a rocha é maciça. Os bioclastos são compostos por gastrópodes, pelecípodes, foraminíferos, equinodermos, celenterados, briozoários, crustáceos, ostracodes, cefalópodes e vertebrados; 2) biocalcarenito não-estratificado, tem fósseis dispersos e baixa diversidade relacionada com o número de indivíduos. Neste calcarenito, é frequente a presença de fragmentos de plantas e de fissuras de argila; 3) biocalcarenito estratificado, apresenta uma estratificação cruzada *hummocky* e um leito de *flaser*; as intercalações de xisto ocorrem localmente, resultando em estruturas ondulatórias e lenticulares. Os componentes químicos de alocação deste biocalcarenito são fósseis muito fragmentados que formam uma estrutura fechada; 4) A marga tem laminações paralelas com alta bioturbação. Em Capanema, esta fácies atinge uma espessura de até 8 m; 5) A litofácies de folhelho é geralmente de cor verde e contém fósseis piritizados de plantas intensamente fragmentadas. Na Praia do Atalaia, há uma passagem lateral acentuada entre o folhelho esverdeado e o negro com um elevado teor de fósseis de plantas bem conservados, indicando um ambiente costeiro com florestas de mangais (Góes *et al.* 1990, Aguilera *et al.* 2020). 6) O biohermito é frequente na Praia do Maçarico, onde é bastante alterado e tem abundantes hexacorais. 7) A litofácies calcilutito é uma rocha maciça e endurecida, e macroscopicamente os fósseis estão ausentes ou altamente disseminados (Góes *et al.* 1990).

Os trabalhos paleontológicos de White (1887) e Maury (1925) são as referências históricas principais desta unidade para os moluscos, briozoários e corais; as contribuições de Petri (1957) para foraminíferos, de Beurlen (1958) em crustáceos, Santos (1958, 1967) em equinoides, Santos & Travassos (1960) em peixes, Paula-Couto (1967) em sirênios e Duarte (2004) na paleoflora. Outras referências mais recentes sobre descrições de novas espécies,

novos registros e/ou comentários de diferentes táxons fósseis estão resumidas em Távora *et al.* (2010a), Aguilera & Páes (2012), Aguilera *et al.* (2013a, b, c, 2014, 2017), além dos estudos taxonômicos de briozoários (Ramalho *et al.* 2015, 2017, Muricy *et al.* 2016) e ostracodes (Nogueira & Nogueira 2017, Nogueira *et al.* 2019).

A fauna na Formação Pirabas é constituída por corais, moluscos (bivalves e gastrópodes), algas vermelhas, briozoários, crustáceos, decápodes, mamíferos, balanomórficos, e cirrípedes equinoides. Estes sugerem um ambiente marinho eutrófico, bem oxigenado, com águas pouco profundas, claras, de baixa salinidade e pouco agitadas em profundidades de aproximadamente 50 m (Távora *et al.* 2005, Aguilera *et al.* 2020). Além disso, o conteúdo micropaleontológico consiste principalmente em ostracodes e foraminíferos bentônicos/planctônicos (Petri 1957, Nogueira & Nogueira 2017, Nogueira *et al.* 2019, Aguilera *et al.* 2020, Rojas *et al.* 2022).

A associação de foraminíferos planctônicos (Petri 1957, Fernandes 1988, Ferreira *et al.* 1978, Fernandes & Távora 1990, Távora & Fernandes 1999) e de palinórfos (Leite 2004) correlaciona-se com o início do Mioceno, Aquitaniano, biozonas N4-N5 globais, coincidindo as idades estimadas com análises de palinórfos para o afloramento de Baunilha Grande (Antonioli *et al.* 2015). No entanto, pesquisa conduzida por Nogueira & Nogueira (2017) propõe uma idade Oligoceno-Mioceno como a mais plausível para a unidade com base em assembleias de ostracodes. Por outro lado, Martínez *et al.* (2017) ao analisar a razão isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  em moluscos fósseis atribuem uma idade Burdigaliana (16 até 17,3 Ma) para a porção superior da Formação Pirabas. De fato, a coincidência ou divergência entre as idades para a unidade são um reflexo das pesquisas pontuais e limitadas aos escassos metros de afloramentos nas falésias litorâneas expostas durante a baixa maré, em relação à potência da unidade estimada em 148 m, segundo as sondagens elétricas verticais realizadas em perfilagens de poços aquíferos (Freimann *et al.* 2014).

### 3 OSTRACODES

Os ostracodes são microcrustáceos e, em geral, apresentam tamanho entre 0,5 e 2 mm no estágio adulto. Estes compõem-se de uma carapaça bivalve quitinosa ou calcária, onde a parte anterior (cabeça) é mais ampla em relação à parte posterior (tórax) e seus limites são apresentados por uma leve constrição ou sulco. O exoesqueleto é constituído por uma camada externa de quitina e uma interna epidérmica que secreta a camada calcária (lamela externa). A periferia da lamela interna (duplicatura) também é geralmente calcificada. O espaço entre a lamela interna e externa é chamado de vestíbulo, sendo ocupado pelos órgãos vitais (figura 6) (Brasier 1980, Armstrong & Brasier 2005). Estas porções se preservam no registro fóssil devido a ser mais resistentes aos processos sedimentares e diagenéticos, sendo as características que serão mais discutidas neste trabalho.

Para a identificação dos ostracodes algumas características principais são observadas. Dentre elas está a carapaça, a qual consiste em uma valva direita e esquerda, podendo uma ser maior que a outra, ou seja, apresentando ou não sobreposição em uma das valvas. Estas são articuladas na região dorsal por meio de uma charneira e unidas por um ligamento quitinoso. Cada valva é constituída por duas lamelas (externa e interna, como já foi visto; figura 6). Ambas as valvas são compostas de sal inorgânico que pode ser carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ou carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ). O carbonato necessário para a construção da nova concha provém inteiramente do ambiente, não sendo reutilizadas partes da antiga carapaça. Nos adultos marinhos da ordem Podocopida as valvas frequentemente são bem calcificadas, embora mais fracamente calcificadas nos primeiros instares. O perfil ou contorno da carapaça, observado em vista lateral externa, é uma característica constante nas espécies, sendo menos constantes em gêneros e categorias sistemáticas superiores. (Howe *et al.* 1961, Brito 2000, Armstrong & Brasier 2005).

Outra característica marcante são as diferentes ornamentações presentes na superfície das carapaças, que podem ser lisa ou apresentar ornamentações como, por exemplo: costelas, nódulos, espinhos, pontuações e reticulações. Estas feições podem variar em função de mudanças ambientais e possuem importância taxonômica. Em vista lateral, a porção anterior da concha é geralmente a mais alta enquanto a posterior é mais afilada (Brito 2000).

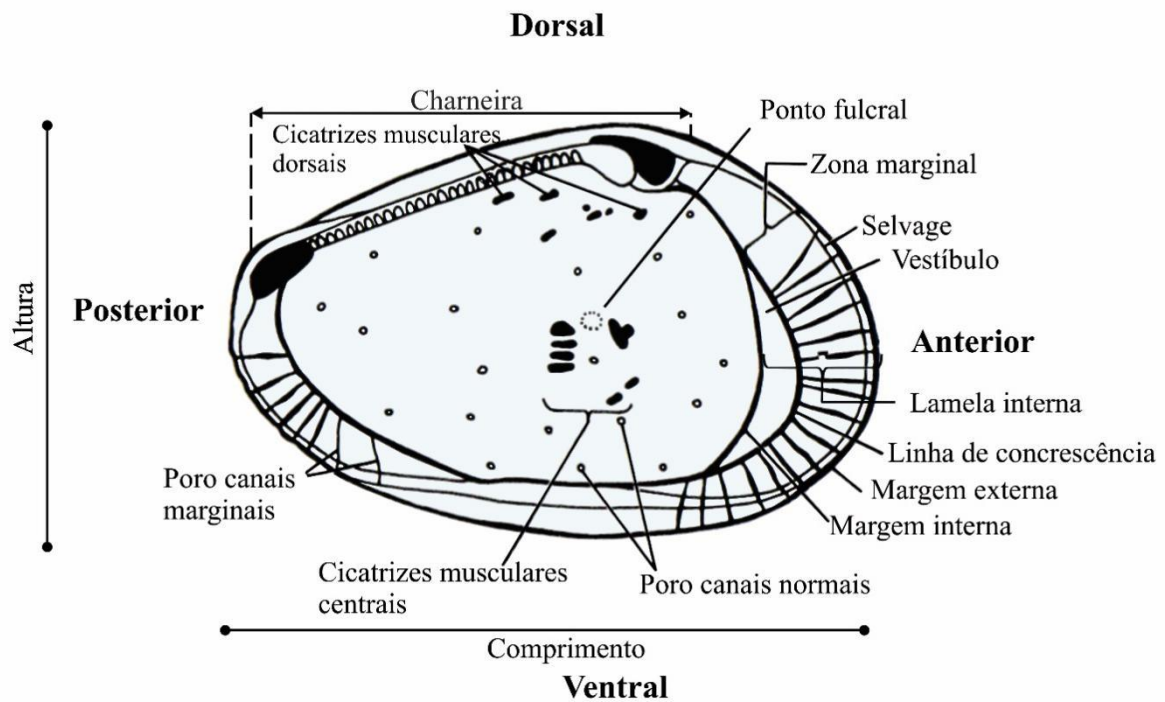


Figura 6- Valva esquerda em vista interna, mostrando os principais elementos estruturais. Fonte: Modificado de Armstrong & Brasier (2005).

Os músculos adutores conectam as valvas na região mediana em que é possível observá-los tanto na região interna quanto na externa. Na região interna da valva, as impressões musculares podem ser centrais e dorsais. As impressões centrais são correspondentes aos músculos adutores, de grande importância para identificação sistemática, sendo que o padrão dos mesmos varia nas diferentes famílias (Brito 2000).

Outro caráter observado nas carapaças são os porocanais onde os ostracodes mantêm contato com o meio circundante se utilizando de cerdas sensoriais que atravessam as paredes das valvas por meio destes porocanais. Estes podem ser classificados em normais (laterais) e marginais (radiais) (Brito 2000).

O dimorfismo sexual observado nas carapaças dos ostracodes é evidenciado na forma, tamanho, e ornamentação das carapaças, além dos detalhes estruturais; de comportamento e *habitat*. As fêmeas são mais infladas e menos alongadas em relação aos machos. A maioria se reproduz sexuadamente, contudo, algumas formas dulciaquícolas se reproduzem por partenogênese. O desenvolvimento das formas juvenis é gradual e por meio de ecdises (processos de mudança do exoesqueleto) (Brasier 1980).

A irradiação ecológica dos ostracodes teve origem no ambiente marinho antes de dominarem ambientes de água doce ainda no Paleozoico, e são atualmente encontrados nos mais diversos ambientes aquáticos, além de diferentes profundidades. Há registros de ostracodes que vivem como ectoparasitas ou comensais de outros crustáceos, anfíbios e peixes. A maioria dos ostracodes marinhos é bentônica, exceção dos Myodocopida que são predominantemente planctônicos (Armstrong & Brasier 2005; figura 7). A distribuição dos ostracodes é controlada por fatores físicos, químicos e biológicos, sendo que os mais importantes são a salinidade, temperatura, concentração de íon hidrogênio (pH), concentração de oxigênio, profundidade, substrato e suprimento alimentar. Em relação à salinidade, as assembleias podem ser classificadas em dulcícolas (< 0,5‰), mesohalinas (0,5 - 30‰), marinhas (30 - 40‰) e hipersalinas (> 40‰) (Brito 2000, Armstrong & Brasier 2005).

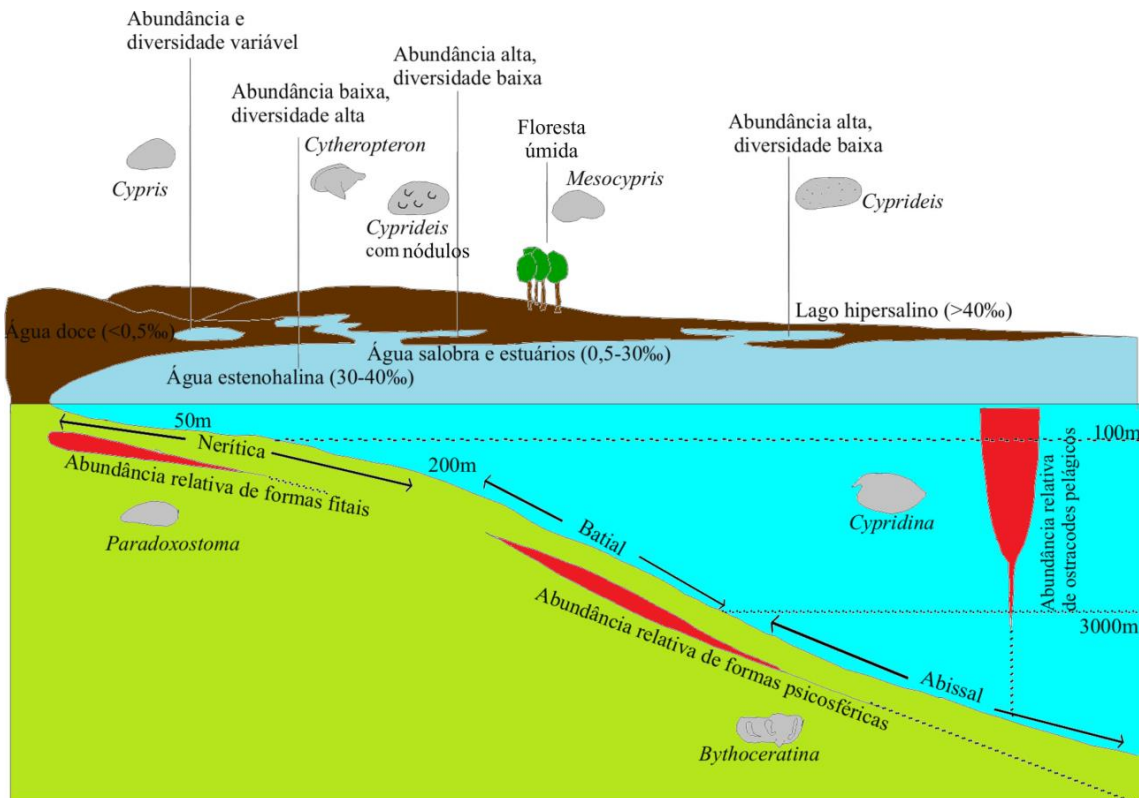


Figura 7- Distribuição ambiental e abundância relativa em cada ambiente. Fonte: Modificado de Armstrong & Brasier (2005).

Os ostracodes de água doce pertencem, em sua maioria, aos cipridáceos. Entre eles estão os gêneros *Cypridea*, *Candona*, *Cypris* e *Chlamydotheca*. No geral, estes indivíduos se restringem a regiões com menos de 10 m de profundidade com fundos lamosos ou argilo-arenosos dependentes da vegetação, da química da água e da temperatura. Nos ambientes costeiros típicos de águas mixohalinas, as principais espécies eurihalinas pertencem à

superfamília Cytheracea. Os limnocytherídeos e cypridáceos constituem-se de poucas espécies, e toleram baixa salinidade. Assim, os gêneros mais comuns em ambientes mixohalinos são: *Cytheridea*, *Haplocytheridea*, *Perissocytheridea*, *Cytherura*, *Loxoconcha* e *Cyprideis*. Já nos ambientes marinhos a diversidade de espécies é bem maior que em ambientes de água doce ou mixohalinas, cujas famílias predominantes são os Cytherurídeos e Trachyleberidídeos, entre outras (Howe *et al.* 1961, Brasier 1980, Brito 2000, Nogueira *et al.* 2011, Nogueira & Ramos 2016).

O principal fator controlador da distribuição geográfica em ostracodes é a temperatura da água, onde a maior diversidade da ostracofauna é encontrada nos trópicos (regiões de águas mais quentes), embora existam espécies restritas às águas frias. Assim como, estes habitam em diferentes batimetrias, embora a profundidade não seja fator limitante para a distribuição destes crustáceos, uma vez que está diretamente relacionada com os fatores: temperatura, salinidade, luz, pressão e outros. Em relação ao pH, esses microcrustáceos normalmente não suportam ambientes muito ácidos, pois nestes ocorrem a dissolução do carbonato de cálcio (Howe *et al.* 1961, Brito 2000, Armstrong & Brasier 2005).

A natureza do substrato tem forte influência na composição e densidade de populações de ostracodes; a granulometria e o grau de compactação dos componentes do sedimento são fatores importantes para o controle da distribuição desses crustáceos. Sedimentos mais finos tendem a ser ricos em ostracodes se comparados a sedimentos mais grossos (Brasier 1980, Brito 2000).

### 3.1 TRABALHOS ANTERIORES REFERENTES AOS OSTRACODES NA FORMAÇÃO PIRABAS

Os trabalhos mais antigos desenvolvidos na região nordeste do estado do Pará baseados em ostracodes se fundamentaram em realizar um levantamento da sua diversidade e abundância, além de atestar grande correlação com unidades cronocorrelatas da região do Caribe desde a década de 70 com as pesquisas pioneiras de Macedo (1970-1973, 1981-1985) até hoje. Estas pesquisas abordaram os ostracodes da Formação Pirabas, no qual foram feitos estudos qualitativos e concluíram que a ostracofauna analisada atesta ambiente epinerítico tropical a subtropical, sendo correlacionável às demais faunas de ostracodes de mesma idade da região caribenha, em especial com a Formação Brasso de Trinidad. Além disso, o autor reconhece gêneros de ambientes mixohalinos (Macedo 1971), ressaltando uma enorme similaridade com a microfauna da Formação Chipola, Flórida (Macedo 1972). Deste modo,

estudos posteriores também reforçaram a importância dos ostracodes em estudos paleoambientais, paleobiogeográficos e correlativos com outras unidades neógenas sincrônicas (Macedo 1973, 1981, 1983a, b, 1985).

A região nordeste do estado paraense apresenta muitas localidades onde há exposições pontuais da Formação Pirabas (Távora *et al.* 2010b) e onde se registra também a frequente presença de ostracodes. Na localidade de Aricuru, município de Maracanã, Távora (1992, 1994a, b, c, 1998) descreveu espécies típicas de águas rasas com salinidade elevada, quentes e bem oxigenadas. Além disso, é ressaltada por este autor a semelhança da assembleia deste grupo com a Formação Brasso de Trinidad. Segundo Távora *et al.* (2010b), em escala regional houve expansão biogeográfica dos ostracodes da Formação Pirabas. Este evento biológico relaciona-se com os processos geológicos que resultaram na propagação de seus biótopos.

Recentes trabalhos focaram na identificação de várias espécies de ostracodes que resultaram na interpretação de ambientes lagunares e de plataforma restrita pertencente à Formação Pirabas, que contribuíram para a interpretação dos paleoambientes desta unidade, sendo algumas destas espécies comuns ao Neógeno do Caribe (Nogueira *et al.* 2011, 2019, Nogueira & Ramos 2016).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 TAXONOMIA

O estudo da ostracofauna proveniente do furo de calha P12 Vigia - VN, da região nordeste do estado do Pará, permitiu o reconhecimento e identificação do total de 39 gêneros e 74 espécies distribuídas dentre os 14 níveis amostrados (tabela 1), e 17 espécimes de ostracodes indeterminados. Das 74 espécies identificadas no presente estudo, 51 espécies foram registradas anteriormente na Formação Pirabas (plates 1, 2 e 3 – anexos II, III e IV). A lista sistemática feita a partir da taxonomia dos ostracodes deste trabalho se encontra no anexo 1.

### 4.2 ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA

Foram triadas 30 amostras, cada uma representativa de intervalos com espessuras de 2 m. Dentre estas, somente 14 se apresentaram fossilíferas. Os intervalos mais abundantes foram os mais inferiores do perfil entre (142-144) a (160-162). Dentre estes, os níveis com maior abundância foram (142-144) e (158-160) com mais de 70 espécimes em cada intervalo (gráfico 1). Os intervalos menos abundantes são os mais superiores entre (100-102) a (138-140). Destes últimos, apenas os níveis (108-110) e (124-126) apresentaram mais de 20 espécimes. Entre os níveis inferiores do perfil, o intervalo (146-148) apresenta a menor abundância, abaixo de 30 espécimes (gráfico 1).

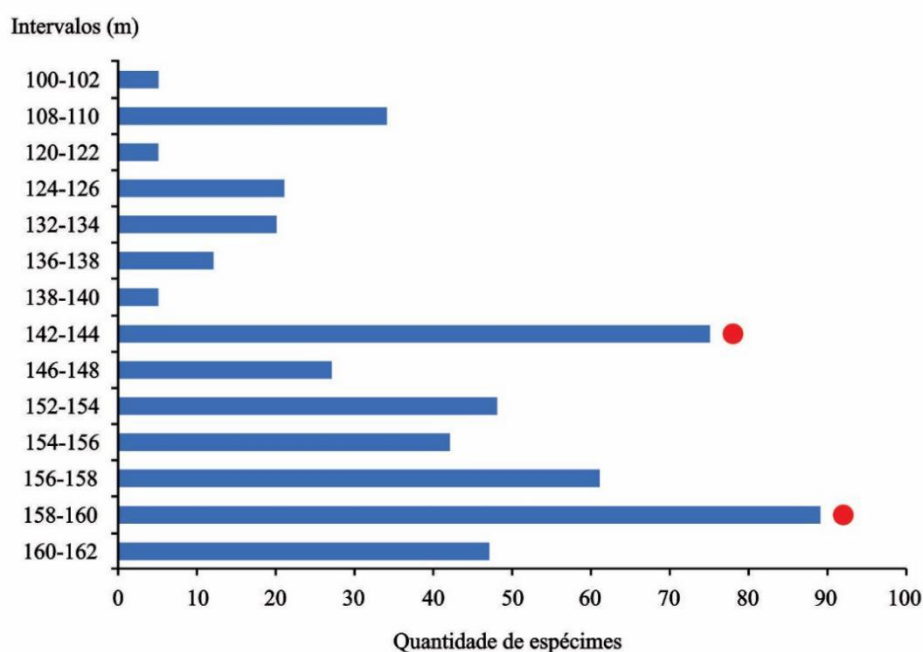


Gráfico 1- Abundância de carapaças por intervalo amostrado do furo de calha P12 Vigia - VN. Os círculos vermelhos indicam os intervalos com as maiores quantidades de espécimes.

Foram registrados 490 espécimes de ostracodes entre as amostras, sendo 479 carapaças e 11 valvas. A grande maioria das valvas e carapaças recuperadas apresenta um moderado a mau estado de preservação. As espécies estudadas ocorrem de forma diferenciada entre as amostras, apresentando também diferentes abundâncias entre elas. Esta distribuição encontra-se na tabela 1.

O número de carapaças é muito maior do que o de valvas, sendo presente em todos os intervalos, porém apenas 7 intervalos apresentaram presença de valvas (gráficos 2 e 3A). No entanto, a abundância destas, encontra-se mais nos intervalos basais da seção estudada, entre (142-144) a (160-162), do que nas porções superiores (gráficos 2 e 3A). Quanto ao número de carapaças fragmentadas, este variou entre 2 a 8 na porção inferior da seção, apresentando uma abundância de carapaças fragmentadas entre os intervalos (142-144) a (160-162). Porém, os intervalos mais superiores (138-140) a (100-102) variaram entre 0 a 3 carapaças fragmentadas (gráfico 3B).

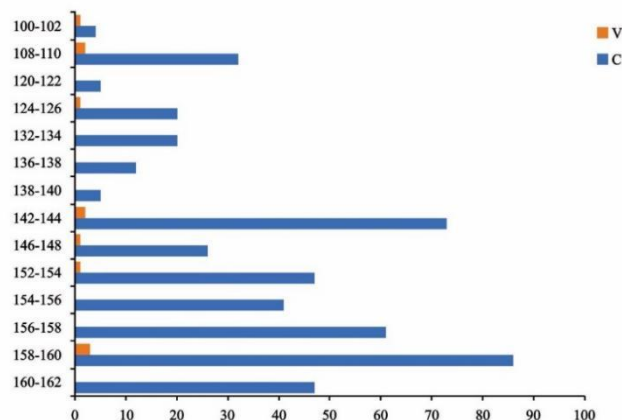


Gráfico 2- Número de carapaças e valvas por intervalo amostrado.

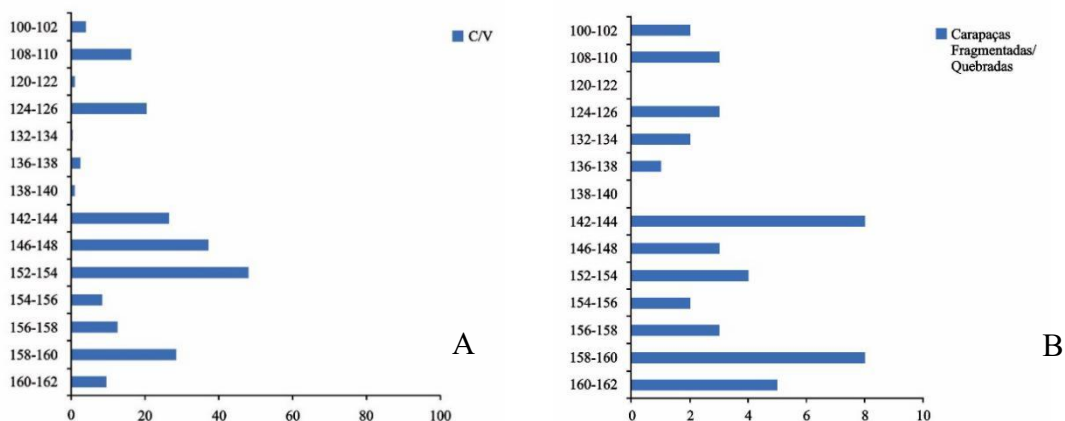


Gráfico 3- A) Porcentagem da razão de carapaças/valvas; B) Número de carapaças fragmentadas/quebradas por intervalo amostrado.

Dentre os gêneros identificados, os mais abundantes foram *Bairdoppilata*, *Haplocytheridea*, *Cytherura*, *Cytherella*, e *Cytheropteron*, dos quais *Bairdoppilata* Coryell Sample e Jennings 1935 é o gênero mais diverso (*Bairdoppilata pinto* Nogueira et al. 2019; *Bairdoppilata antillea* van den Bold 1946; *Bairdoppilata oblongata* van den Bold 1946; *Bairdoppilata vandenboldi* Nogueira et al. 2019; *Bairdoppilata dorsoarcuata* Nogueira et al. 2019; *Bairdoppilata* sp.; *Bairdoppilata?* sp.), seguido pelos gêneros *Haplocytheridea* (*Haplocytheridea sandbergi* Nogueira et al. 2011; *Haplocytheridea pirabasensis* Nogueira et al. 2011; *Haplocytheridea variopunctata* Nogueira et al. 2011; *Haplocytheridea sinuosa* Nogueira et al. 2011; *Haplocytheridea* sp.) e *Cytherura* (*Cytherura punctocentrata* Nogueira et al. 2019; *Cytherura?* *ornatareticulum* Nogueira et al. 2019; *Cytherura?* *quasilenisa* Nogueira et al. 2019; *Cytherura* sp.; *Cytherura?* sp.) (tabela 1).

Pode-se facilmente verificar que *Bairdoppilata pinto* possui a maior abundância, tendo sido recuperada de 11 amostras, perfazendo um total de 56 carapaças e nenhuma valva. A segunda espécie mais abundante foi a *Cytheropteron?* *yorktownenses* Malkin 1953, com 26 carapaças e 1 valva e *Kangarina quellita* Coryell & Fields 1937, com 27 carapaças e nenhuma valva. Outras espécies abundantes são *Gangamocytheridea macedoi* Távora 1998 (22 carapaças e 3 valvas) e *Pellucistoma magniventra* Edwards 1944 (23 carapaças e nenhuma valva). Por outro lado, *Neonesidea?* sp., *Argilloecia* sp. 2, *Propontocypris* sp., *Cytherois* sp., *Xestoleberis?* sp., *Hulingsina reticulorugosa* Nogueira et al. 2019, *Hemicytherura?* sp., *Semicytherura* sp., *Loxoconcha?* sp., *Loxocorniculum fischeri* Brady 1869, *Munseylla* sp., *Caudites medialis* Coryell & Fields 1937, *Bradleya?* sp., *Quadracythere* sp., *Quadracythere?* sp. 1, *Cativella* sp. aff. *C. navis* Coryell & Fields 1937, *Basslerites minutus* Bold, 1958, *Pseudopsammocythere?* sp., *Perissocytheridea punctocentrata* Nogueira & Ramos 2016, *Perissocytheridea pirabensis* Nogueira & Ramos 2016, *Perissocytheridea?* sp., foram as espécies com menor abundância, apresentando um único espécime (tabela 1).

Tabela 1- Número de espécimes por espécie nos intervalos amostrados do furo de calha P12 Vigia - VN.

ESPÉCIES	INTERVALOS														TOTAL
	100-102	108-110	120-122	124-126	132-134	136-138	138-140	142-144	146-148	152-154	154-156	156-158	158-160	160-162	
<i>Cytherella stainforthi</i>		1		2	1			3		2		1	3	1	14
<i>Cytherella kempfi</i>		1		1					1	1	7	2	2	2	17
<i>Cytherella altacaelateralis</i>		4		1						2		2	2	1	12
<i>Cytherella</i> sp.								1		1			2	1	5
<i>Cytherelloidea</i> sp.											1	1	2		4
<i>Bairdopillata antillea</i>	1	1	1		1			4	2						10
<i>Bairdopillata oblongata</i>	1	4						8				4	1		18
<i>Bairdopillata pintoii</i>				1	3	1	2	9	9	6	7	10	5	3	56
<i>Bairdopillata vandenboldi</i>								1		4			2	4	11
<i>Bairdopillata dorsoarcuata</i>				1	1				2				1	3	8
<i>Bairdopillata</i> sp.		1			2	2		3			1	2			11
<i>Bairdopillata?</i> sp.								1						1	2
<i>Mydonobairdia cauladelicata</i>										1	1				2
<i>Neonesidea</i> sp.				1				1				1	1		4
<i>Neonesidea?</i> sp.					1										1
<i>Paranesidea elegantissima</i>											2				2
<i>Argilloecia</i> sp. 2								1							1
<i>Pontocypris aguileri</i>								3	2				2	2	9
<i>Propontocypris</i> sp.									1						1
<i>Paradoxostoma artum</i>									1					3	4
<i>Paradoxostoma?</i> sp.												1		2	3
<i>Cytheroís</i> sp.								1							1
<i>Pellucistoma magniventra</i>		1						3		4	1	6	3	5	23
<i>Xestoleberis? dactylotypa</i>	1		3			3		1		1		1			10
<i>Xestoleberis</i> sp.								1				1	1		3
<i>Xestoleberis?</i> sp.														1	1
<i>Cushmanidea? bragantinaensis</i>		1						2	1	5	2	1			12
<i>Hulingsina reticulorugosa</i>								1							1
<i>Hulingsina? lorenesmithae</i>					1	1								2	4
<i>Gangamocytheridea macedoi</i>		5			1					2	2	4	8	3	25
<i>Cytheropteron? yorktownenses</i>	1							6	1	1	4	6	3	5	27
<i>Cytheropteron bichense</i>												2			2
<i>Cytheropteron</i> sp.		1		3		1		5		2	1		2		15
<i>Cytherura punctocentrata</i>								1			1			1	3
<i>Cytherura? ornatareticulum</i>								1						1	2
<i>Cytherura? quasilenisa</i>		2		1				2	1	1		4	2	1	14
<i>Cytherura</i> sp.		1		1									3		5
<i>Cytherura?</i> sp.								1					2		3
<i>Hemicytherura?</i> sp.								1							1
<i>Semicytherura</i> sp. aff. <i>S. clavata</i>										1	1				2
<i>Semicytherura</i> sp.													1		1
<i>Kangarina quellita</i>								4	1	1	2	3	16		27
<i>Loxococoncha</i> sp. aff. <i>L. cyrton</i>		1						1	1	6	1		1		11
<i>Loxococoncha?</i> sp.													1		1
<i>Loxocorniculum</i> sp. aff. <i>Loxococoncha rugosa</i>								1					2	1	4
<i>Loxocorniculum fischeri</i>										1					1
<i>Loxocorniculum</i> sp.											1		2		3
<i>Phlyctocythere</i> sp.												3			3
<i>Munsseylla</i> sp.													1		1
<i>Cytheretta</i> cf. <i>C. punctata</i>		1		3	1		1								6
<i>Cytheretta petrii</i>		1					1		1	1		1	1		6
<i>Aurila laevicula</i>				2	1	1							2	1	6
<i>Caudites medialis</i>													1		1
<i>Neocaudites marcetius</i>								1		1					2
<i>Bradleya?</i> sp.													1		1
<i>Quadracythere brachypygaia</i>	1							1				1			3
<i>Quadracythere?</i> sp 1.								1							1
<i>Quadracythere</i> sp.													1		1
<i>Costa spinaventralis</i>										1	1		2		4
<i>Costa</i> sp.								2					1		3
<i>Cativella</i> sp. aff. <i>C. navis</i>								1							1
<i>Basslerites minutus</i>													1		1
<i>Cyprideis</i> sp.											2				2
<i>Pseudopsammocythere?</i> sp.													1		1
<i>Haplocytheridea sandbergi</i>		1										1	1	1	4
<i>Haplocytheridea pirabasensis</i>		2							1						3
<i>Haplocytheridea variopunctata</i>		2				1			1		1		2		7
<i>Haplocytheridea sinuosa</i>			1		3										4
<i>Haplocytheridea</i> sp.				2						2		1			5
<i>Cytheridea coimbrai</i>		3													3
<i>Perissocytheridea punctocentrata</i>								1							1
<i>Perissocytheridea pirabasensis</i>													1		1
<i>Perissocytheridea</i> sp.				1						1	1			1	4
<i>Perissocytheridea?</i> sp.					1										1
<i>Ostracode indeterminado</i>				3	2	2	1	1	1		1	2		4	17
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>75</b>	<b>27</b>	<b>48</b>	<b>41</b>	<b>61</b>	<b>89</b>	<b>47</b>	<b>490</b>

X: abundante, mais de 20 espécimes

O: comum, 5-20 espécimes

#: raro, 2-5 espécimes

! 1 único espécime

As análises de diversidade realizadas neste estudo foram por meio dos índices de Alpha-Fisher, Shannon, Equitabilidade e Simpson. Conforme o índice de Simpson, os intervalos com distribuição uniforme ou maior em seu índice de diversidade foram (100-102), (108-110) e (124-126) a (160-162). No entanto, os intervalos (120-122), (138-140) e (146-148) apresentaram menor índice de diversidade de Simpson (gráfico 4).

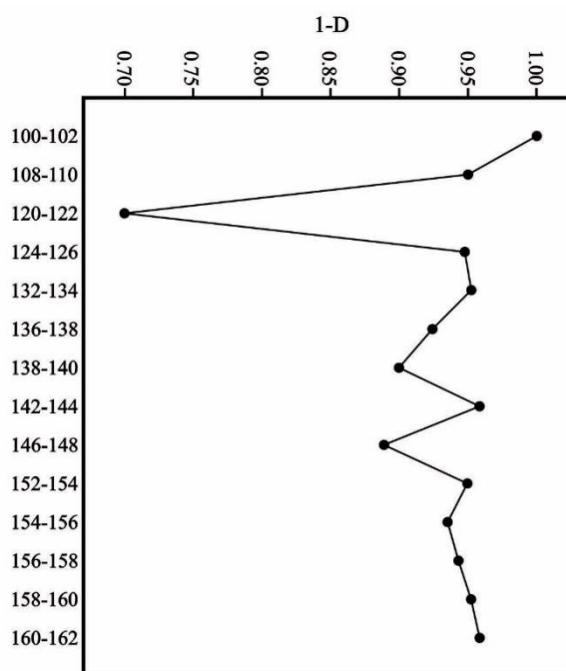


Gráfico 4- Índice de Simpson feito a partir dos dados obtidos das amostras do perfil P12 Vigia – VN.

A diversidade também foi mostrada por meio dos índices de Shannon e Alpha-Fisher, dos quais estes valores diferenciaram entre os intervalos. Desta forma, os intervalos mais diversos e abundantes foram (142-144) e (158-160), seguidos por (108-110), (152-154) e (160-162) (gráficos 5 e 6). O valor mais alto de Alpha-Fisher é registrado no intervalo (158-160) onde o maior número de espécies é notado (39 espécies). Porém, o valor de Alpha-Fisher é igual a zero no intervalo (100-102), pois estes apresentam apenas 5 espécies. O máximo valor de Shannon ( $H'$ ) é igualmente registrado no intervalo (158-160). Por outro lado, o valor de  $H'$  é igual a 1,1 nos intervalos (120-122) e (138-140), pois estes apresentam apenas 3 espécies.

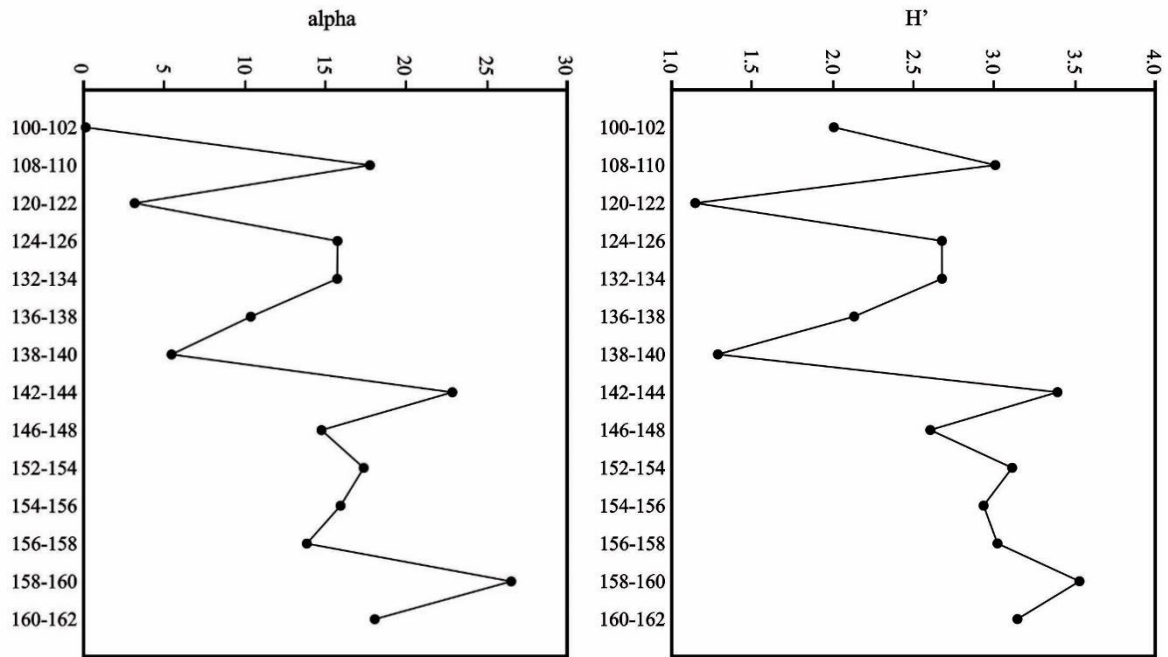


Gráfico 5- Índice de diversidade de Alpha-Fisher (alpha) (à esquerda) e Shannon (H') (à direita) do furo de calha P12 Vigia - VN.

Os maiores valores de Alpha-Fisher com o índice de Shannon (H') indicam em sua maioria ambientes de plataforma, além de indicar condições ambientais altamente instáveis e uma variação para ambiente marinho normal, laguna hipersalina e plataforma marinha. Estes índices variam entre ambientes de plataforma com valores maiores, plataformas rasas/lagunas com salinidade anormal (valores medianos) e lagunas hiposalinas e hipersalinas (valores menores).

No presente estudo, o índice de equitabilidade entre os intervalos (142-144) a (158-160) é menor que 1, enquanto que os intervalos (100-102) e (120-122) a (136-138) apresentaram valores maiores que 1. Além disso, os únicos intervalos que apresentaram valores quase iguais ou iguais a 1 foram (108-110) e (160-162) (gráfico 6).

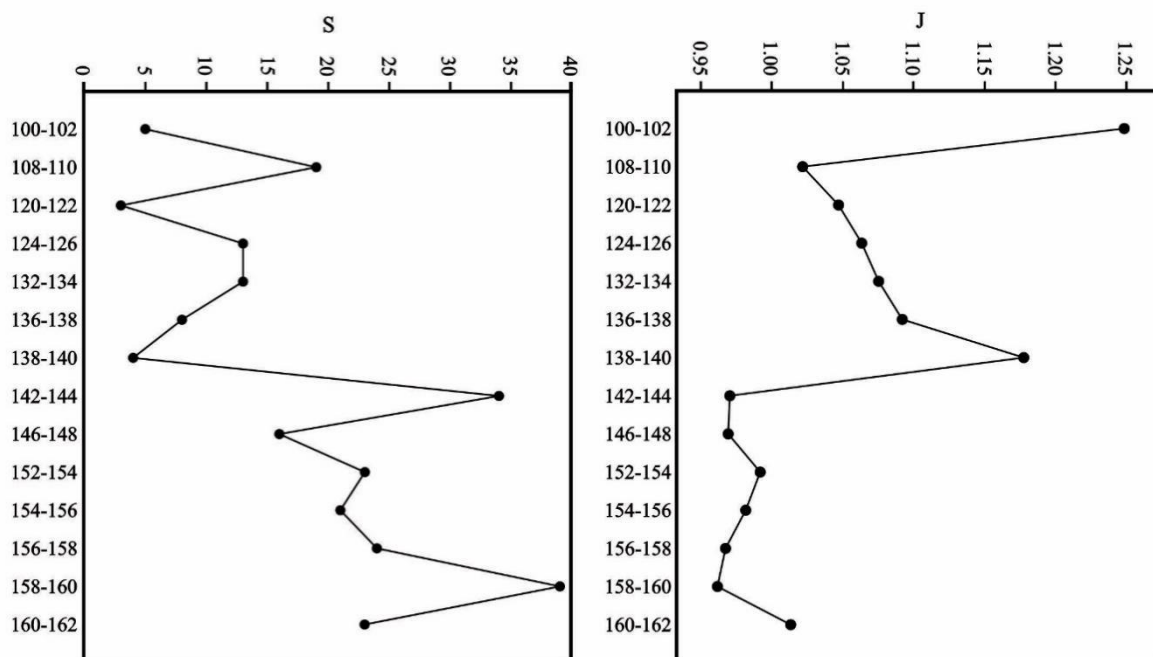


Gráfico 6- Riqueza de Espécies (S) por espécimes (à esquerda) e Índice de Equitabilidade (J) exponencial por espécimes (à direita) do furo de calha P12 Vigia - VN.

Os intervalos (142-144), (156-158) e (158-160) foram os que apresentaram maior riqueza de espécimes e maior índice de diversidade de Shannon (gráficos 5 e 6), assim como maior valor no índice de Alpha-Fisher (gráfico 5).

Na seção do presente estudo, a distribuição da abundância não é uniforme, aumentando na parte inferior, na base da parte média e diminui bruscamente na parte superior. Além disso, a riqueza aumenta na parte inferior da seção e na parte média, enquanto diminui na porção superior. É evidente que, quanto maior for a riqueza de espécies (S), maiores serão os valores de Alpha-Fisher e do índice de Shannon ( $H'$ ) (gráficos 5 e 6). Do mesmo modo, os valores máximos de Alpha-Fisher e Shannon atingem 3.5 e 39, respectivamente, refletindo a riqueza mais elevada (gráficos 5 e 6).

## 5 DISCUSSÕES

### 5.1 ASPECTOS PALEOAMBIENTAIS E PALEOECOLÓGICOS

Estudos anteriores na Formação Pirabas com base em ostracodes permitiram reconstruir os paleoambientes desta unidade reconhecendo associações típicas de ambientes transicionais à plataforma marinha rasa (Nogueira *et al.* 2011, Nogueira & Ramos 2016, Nogueira & Nogueira 2017). As famílias Cytheruridae, Cytheridae e Cytherideidae indicam ambientes marinho marginal a abissal (conforme Behrens 1991, Ramos *et al.* 1999, Machado *et al.* 2005). As espécies dos gêneros *Pellucistoma*, *Bairdopillata*, *Pontocypris*, *Cytherella*, *Xestoleberis*, *Cytherura*, *Gangamocytheridea*, *Cytheropteron*, *Kangarina*, *Loxoconcha*, *Cytheretta*, *Aurila* e *Haplocytheridea* foram as mais abundantes e comuns dentre toda a ostracofauna no presente estudo, em especial, as espécies *Bairdopillata pintoii*, *Cytheropteron? yorktownensis*, *Kangarina quellita*, *Gangamocytheridea macedoi* e *Pellucistoma magniventra* (tabela 1). Embora estas espécies sejam tipicamente de ambientes infralitorais, são geralmente mais abundantes nos depósitos lagunares (Nogueira & Nogueira 2017). Neste caso, dentre os intervalos (108-110), e (142-144) a (160-162), pode-se inferir que estes se enquadram nas biofácies (B3) de plataforma marinha próxima à costa (figuras 7 e 9). Estes intervalos obtiveram também maiores valores de riqueza de espécies ou Taxa S ( $> 16$ ), Shannon ( $> 2.7$ ) e Alpha-Fisher ( $> 15$ ) (gráficos 5 e 6). A abundância e riqueza relativamente mais elevadas indicam que estes intervalos foram depositados em condições neríticas (Helal & El Baz 2023)

A presença de depósitos lagunares por trás da barreira de recifes é indicada pela presença de bairdiídeos, comuns em ambientes de recifes de coral (Whatley & Watson 1988). *Bairdopillata* é o gênero mais abundante e diverso, seguido do gênero *Haplocytheridea*. Nos intervalos de alta abundância (tabela 1), outros gêneros com contagens mais baixas: *Quadracythere*, *Cytheretta*, *Pontocypris*, *Propontocypris*, *Cytherella*, *Pellucistoma* são indicativos de paleoambientes que vão desde marinho raso a lagunar (Nogueira *et al.* 2011).

As frequências e abundâncias mais elevadas de ambos os gêneros *Haplocytheridea-Perissocytheridea* estão associadas aos cenários de águas próximas da costa para águas salobras (Nogueira & Ramos 2016). Na seção estudada, os intervalos (124-126) a 138-140) representados pelos ambientes de águas mais salobras apresentaram abundância menor ou igual em relação aos ambientes de plataforma próximo à costa (tabela 1; figura 10). O padrão de distribuição da *Perissocytheridea* combinado com a ocorrência de foraminíferos *Elphidium* e *Ammonia* na seção estudada suporta a presença das fácies de água salobra (Nogueira & Ramos

2016). Conforme Rojas *et al.* (2022), na mesma área houve maior incidência de espécies do gênero *Ammonia*, especialmente entre os intervalos (120-122) e (124-126), e a espécie *Criboelphidium excavatum* Terquem 1875, foi a mais abundante no intervalo (138-140). Isto demonstra que os intervalos (124-126) a (138-140), e os intervalos (120-122) e (100-102) se encontram dentro das fácies de águas mais salobras próximo à costa, representados por lagunas e ambientes de transição (pântanos e mangues) no presente estudo.

O gênero *Haplocytheridea* foi registrado, pela primeira vez em depósitos miocênicos da Formação Pirabas do norte do Brasil, por Nogueira *et al.* (2011), a partir de uma sucessão de 20 m de espessura de rochas carbonatadas e argilosas depositadas em ambientes lagunares e plataformas restritas no município de Capanema.

O registro raro da associação *Haplocytheridea-Cytheridea* na seção estudada está mais relacionado a cenários de plataforma marinha e laguna de águas salobras próximos à costa, especialmente nos intervalos (142-144) a (160-162), e (124-126) a (138-140), respectivamente (tabela 1; figura 10). Estes gêneros têm sido considerados como eurialinos, ocorrendo em ambientes que vão desde marinho raso (Swain 1963, Malz & Triebel 1970, Puckett 1994, Faranda *et al.* 2008), água salobra (Stephenson 1945, Bold 1972, Keen 1977) e água salobra pouco profunda, próximo à costa, até ao mar (Besonen 1997). As altas abundâncias e diversidade destes gêneros podem ser associadas a alterações cíclicas da linha costeira, com uma maior proliferação durante períodos de salinidade estabilizada e aumento do contributo nutricional (Nogueira *et al.* 2011). A presença de ambos os gêneros é evidenciada também no intervalo (108-110), o que se pode concluir que este intervalo está mais associado aos cenários paleoambientais mais próximos à costa.

Os intervalos (100-102), (120-122) a (138-140) obtiveram menores valores de riqueza de espécies ou Taxa S ( $< 15$ ), Shannon ( $< 2.7$ ) e Alpha-Fisher ( $< 17$ ). No entanto, menor abundância e diversidade em relação aos intervalos mais inferiores da seção estudada, e consequentemente menor riqueza de espécies (gráficos 5 e 6). Estes valores relativamente menos elevados da porção superior da seção indicam que estes intervalos foram depositados em condições mais salobras, ou seja, em zonas mais transicionais (mangues ou lagunas). Por outro lado, apenas o intervalo superior da seção estudada (108-110) e intervalos mais inferiores (142-144) a (160-162), apresentaram valores maiores com riqueza de espécies ou Taxa S ( $> 16$ ), Shannon ( $> 2.7$ ) e Alpha-Fisher ( $> 15$ ), evidenciando ambientes de plataforma marinha próximo à costa (gráficos 5 e 6). Conforme estudos baseados em análises multivariadas de Alpha-Fisher e Shannon ( $H'$ ) com ostracodes, valores mais altos de Alpha-Fisher e  $H'$  são

diretamente proporcionais a maiores números de diversidade em cada amostra ou intervalo (Salas *et al.* 2018, Bergue *et al.* 2021, Helal & El Baz 2023).

No que diz respeito ao índice de Simpson, reforça-se a ideia de uma mudança ambiental ocorrida principalmente nos intervalos (108-110) e (120-122) do topo da seção estudada, onde a diversidade diminui bruscamente, apresentando valores entre 0.70 a 0.95 (gráfico 4). O único intervalo com um valor máximo do índice de Simpson (1.0) foi o intervalo (100-102) (gráfico 4). Os intervalos mais basais da seção até a porção mediana entre (124-126) a (160-162), os valores do índice de Simpson foram maiores e mais uniformes (0.90 a 0.96) em comparação a aqueles no topo da seção (gráfico 4). De acordo com Pokorný (1971) e Puckett (2012), valores baixos de diversidade estão associados a tratos de sistemas regressivos, enquanto valores mais altos relacionam-se a um trato transgressivo (Santos Filho *et al.* 2015). Nos intervalos estudados, a alteração das assembleias de ostracodes e das percentagens de carapaça/valva parecem corroborar esta interpretação. Os intervalos (124-126) a (160-162) representam um ambiente marinho, com níveis de energia provavelmente intermediários a elevados, e uma fauna relativamente diversificada e abundante, que foi posteriormente, durante um evento regressivo, substituído pelo ambiente mixohalino de baixa energia (possivelmente uma laguna), refletido pelos intervalos (120-122) e (108-110), com uma fauna mais tolerante, porém escassa (gráfico 4; figura 10).

O índice de equitabilidade mede a equidade das espécies numa determinada comunidade. Quando as abundâncias das diferentes espécies são quase iguais, a curva de equitabilidade é quase igual a 1 (Helal & El Baz 2023). A maioria dos intervalos inferiores da seção estudada apresentou valores mais baixos de equitabilidade ( $< 1$ ), indicando abundâncias desiguais, com exceção do intervalo (160-162), que apresenta abundâncias quase iguais. Assim, os valores maiores que 1 estão na porção superior da seção estudada, diferente da porção inferior em que os valores de equitabilidade ( $J$ ) são menores que 1 (gráfico 6). Desta forma, os intervalos (108-110), (152-154) e (160-162) mostraram valores de equitabilidade igual a 1 ou próximo a 1, apresentando uma igual abundância de diferentes espécies.

A percentagem de carapaças/valvas se apresenta constante ao longo da seção estratigráfica (gráficos 2 e 3A). Há predominância de carapaças na seção do presente estudo. Normalmente, isto aponta para condições de baixa energia com taxas de sedimentação rápidas (por exemplo, Pokorný 1964, Oertli 1971, Cabral 1995, Hussain *et al.* 2007, Hussain & Kalaiyarasi 2013), o que parece ser o caso de praticamente todos os intervalos, porém os intervalos (142-144) a (158-160) têm maior abundância destas carapaças e maior número de

carapaças fragmentadas (gráficos 2 e 3B). No entanto, os intervalos (100-102) a (138-140) apresentam menor quantidade de carapaças e também menor quantidade de carapaças fragmentadas (gráficos 2 e 3B). Esta situação seria incomum em ambientes de baixa energia, possivelmente indicando uma mudança para condições marítimas abertas (Santos Filho *et al.* 2015). Portanto, a abundância de carapaças de espécies como *Bairdoppilata pintoi*, espécies de *Cytherella*, *Pellucistoma magniventra*, *Gangamocytheridea macedoi*, *Cytheropteron? yorktownensis*, e *Kangarina quellita* pode ser atribuída a: predominância de espécies com dobradiça mais robusta; ou retrabalho pós-deposicional dos sedimentos. Considerando a alta variabilidade dos níveis de energia dentro de um cenário marginal, é possível que os fósseis depositados em condições de baixa energia tenham sido posteriormente retrabalhados (conforme Santos Filho *et al.* 2015).

### 5.1.1 Biofácies

O dendrograma de cluster obtido do coeficiente de similaridade de Bray-Curtis e a análise SIMPER (Clarke 1993) geraram três grupos de amostras, usando uma similaridade próxima de 30% (figura 7). Os táxons que são principalmente responsáveis por uma diferença observada entre os grupos de intervalos variaram em torno 2% a 17% de contribuição à similaridade (tabela 2). Estas análises permitiram o reconhecimento de três biofácies, onde as espécies que colaboraram para a similaridade entre cada grupo representado por biofácies são apresentadas na tabela 2. O grupo 1 representa a biofácies 1 (B1); grupo 2 - biofácies 2 (B2); e grupo 3 - biofácies 3 (B3) conforme a abundância relativa das espécies (tabela 2).

Tabela 2- Biofácies identificadas ao longo da seção estratigráfica P12 Vigia - VN conforme a análise de cluster, grupo de espécies dominantes conforme a análise de SIMPER, descrição litológica e ambientes.

Biofácies	Táxons ou espécies que contribuem para a similaridade	Similaridade SIMPER (%)	Litologia	Ambientes
<b>B1</b>	<i>Xestoleberis? dactylotypa</i> <i>Bairdoppilata antillea</i> <i>Cytheropteron? yorktownensis</i> <i>Quadracythere brachypygaia</i> <i>Bairdoppilata oblongata</i> <i>Haplocytheridea sinuosa</i>	14% a 17%	Argila arenosa acinzentada	Ambientes de transição
<b>B2</b>	<i>Hulingsina? lorensmithae</i> <i>Aurila laevicula</i> <i>Cytheropteron sp.</i> <i>Bairdoppilata sp.</i> <i>Bairdoppilata oblongata</i> <i>Cytherella stainforthi</i>	5% a 6%	Argila arenosa acinzentada com areia carbonática de fina a média	Laguna

<b>B3</b>	<i>Haplocytheridea variopunctata</i> <i>Bairdoppilata</i> sp. <i>Haplocytheridea sandbergi</i> <i>Pontocypris aguilerai</i> <i>Bairdoppilata oblongata</i> <i>Cytherella</i> sp. <i>Bairdoppilata vandenboldi</i>	2%	Areia carbonática de fina a média	Plataforma marinha próxima à costa
-----------	---	----	-----------------------------------	------------------------------------

Segundo estudos anteriores realizados na Formação Pirabas, principalmente baseados em ostracodes e foraminíferos bentônicos, ocorrem diferentes biofácies nos depósitos da unidade, especialmente nos municípios de Capanema e Maracanã, permitindo reconstruir ambientes que variaram desde marinho plataformaraso a lagunar (Macedo 1970 a 1985, Ferreira *et al.* 1984, Echevarría & Távora 1992, Fernandes & Távora 1990, Távora 1992, Távora & Fernandes 1999, Ramos *et al.* 2004). Atualmente, um estudo com base em ostracodes, interpretou esta unidade com uma variação de ambientes transicionais a plataforma marinha rasa (Nogueira & Nogueira 2017). Entretanto, associações de fácies com agrupamento de foraminíferos bentônicos na mesma localidade do presente estudo, interpretou os paleoambientes como: ambiente marinho marginal, salobro, óxico, de plataforma nerítica (Rojas *et al.* 2022). Comparado a estes trabalhos, estas variações ambientais também são observadas nos intervalos do presente estudo (figuras 8 a 10), onde foram identificadas três biofácies de ostracodes (B) baseando-se na análise de cluster e índices de similaridades e diversidade:

B1 – Biofácies representada pelos intervalos de (100-102) e (120-122), e interpretada como ambiente de transição com mais baixos índices de diversidade e abundância, ou seja, menores valores de Shannon (< 2.7), Alpha-Fisher (< 17) e riqueza de espécies ou Taxa S (< 15). No entanto, menor abundância e diversidade em relação aos intervalos mais inferiores da seção estudada, e conseqüentemente menor riqueza de espécies (gráficos 5 e 6). Estes valores relativamente menos elevados da porção superior da seção indicam que estes intervalos foram depositados em condições mais salobras, ou seja, em zonas mais transicionais (mangues ou lagunas) (figura 10); menor número de carapaças fragmentadas ou quebradas nesta porção da seção inferindo um ambiente de baixa energia; presença apenas do grupo de espécies com um único espécime de cada e com maior percentagem de similaridade de SIMPER (14% a 17%), onde os táxons apresentados na tabela 1 são os responsáveis por uma diferença observada entre os grupos de intervalos; ocorre apenas uma espécie do gênero *Haplocytheridea*.

B2 – Biofácies representada pelos intervalos de (124-126) a (138-140) e interpretada como

laguna com a presença de uma rara a média diversidade e abundância, sendo alguns intervalos apresentando um único espécime. Assim como a biofácies 1, a biofácies 2 apresentou menores valores dos índices de diversidade e abundância: Shannon ( $< 2.7$ ), Alpha-Fisher ( $< 17$ ) e riqueza de espécies ou Taxa S ( $< 15$ ); apresentou média percentagem de similaridade de SIMPER (5% a 6%); menor número de carapaças fragmentadas ou quebradas nesta porção da seção inferindo um ambiente de baixa energia; e destaque para a presença de *Perissocytheridea?* sp., *Perissocytheridea* sp., e *Haplocytheridea* sp. gêneros estes que indicam influências de ambientes com águas mais salobras.

B3 – Biofácies representada pelos intervalos de (108-110) e (142-144) a (160-162), que apresentam alta abundância e diversidade e valores maiores com riqueza de espécies ou Taxa S ( $> 16$ ), Shannon ( $> 2.7$ ) e Alpha-Fisher ( $> 15$ ), evidenciando ambientes de plataforma marinha próximo à costa (gráficos 5 e 6); e com menor percentagem de similaridade de SIMPER (2%); maior número de carapaças fragmentadas ou quebradas nesta porção da seção inferindo um ambiente de alta energia; e maior aparecimento de outros táxons (figura 10), sendo a maioria de espécies típicas de ambiente marinho e com presença de *Haplocytheridea* - *Cytheridea* indicativo de linha de costa.

As três biofácies identificadas neste estudo conforme a análise de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) (figura 9) revela que os intervalos da porção superior da seção estudada (100-102) a (120-122) apresentam maiores distâncias entre si, assim como os intervalos da porção mediana (124-126) a (138-140). Quanto à porção inferior da seção, os intervalos (142-144) a (160-162) apresentaram menores distâncias de similaridade. Isto demonstra que grupos de intervalos apresentam condições ambientais que são mais próximas.

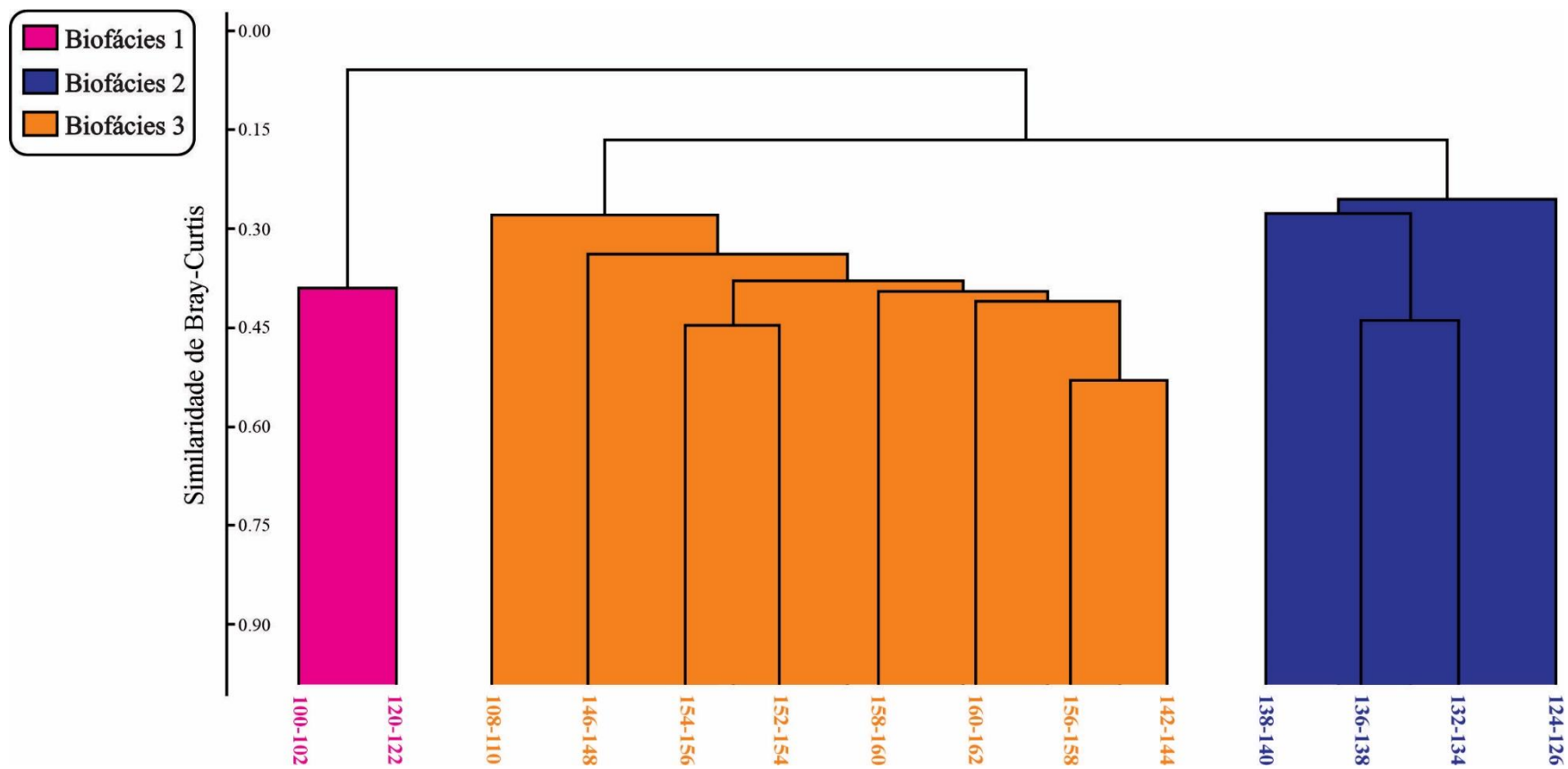


Figura 8- Dendrograma resultante da análise de cluster, baseado na abundância relativa de ostracodes do presente estudo.

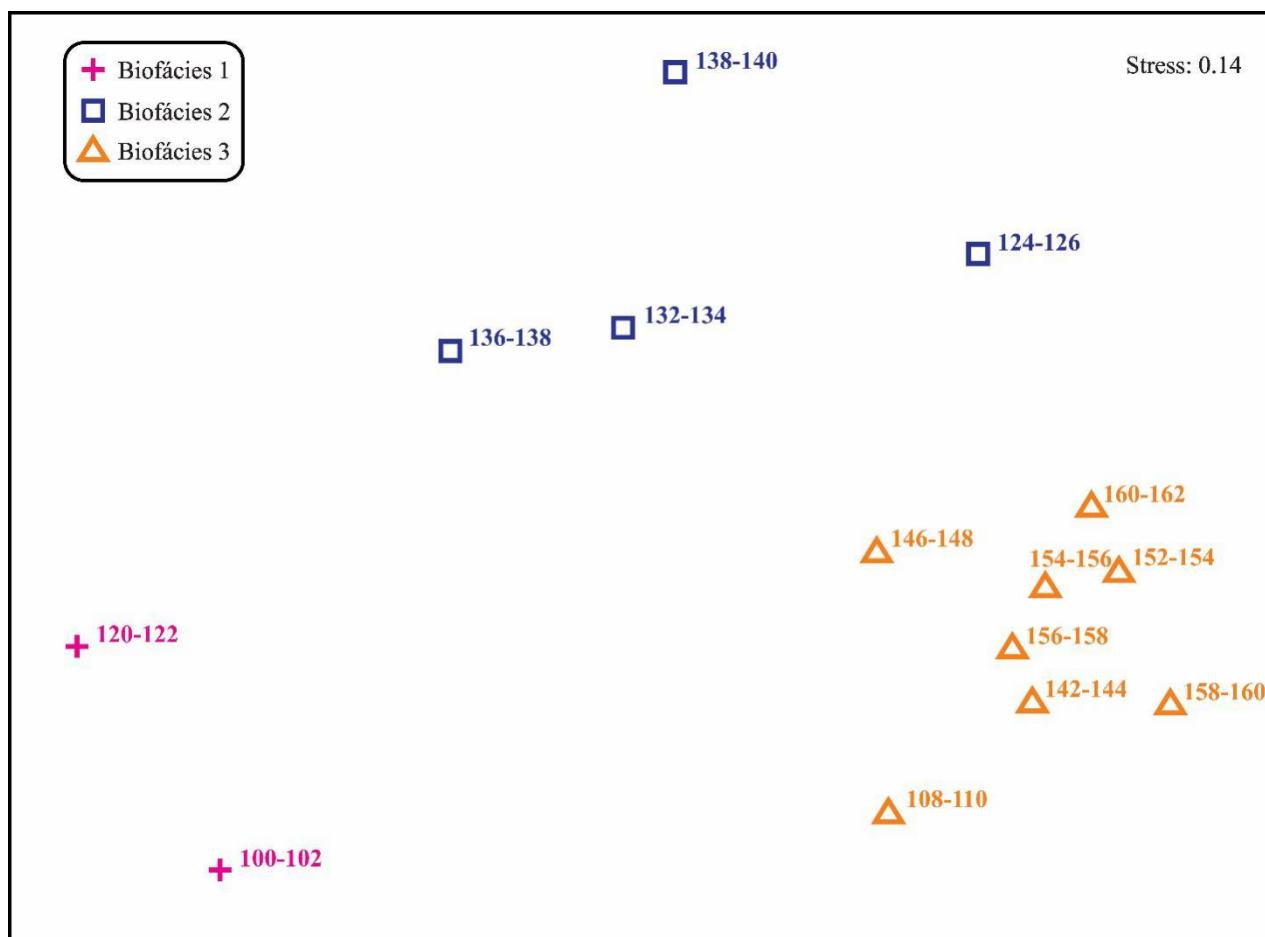


Figura 9- NMDS conforme a análise de agrupamento baseado em ostracodes na seção estratigráfica P12 Vigia - VN.

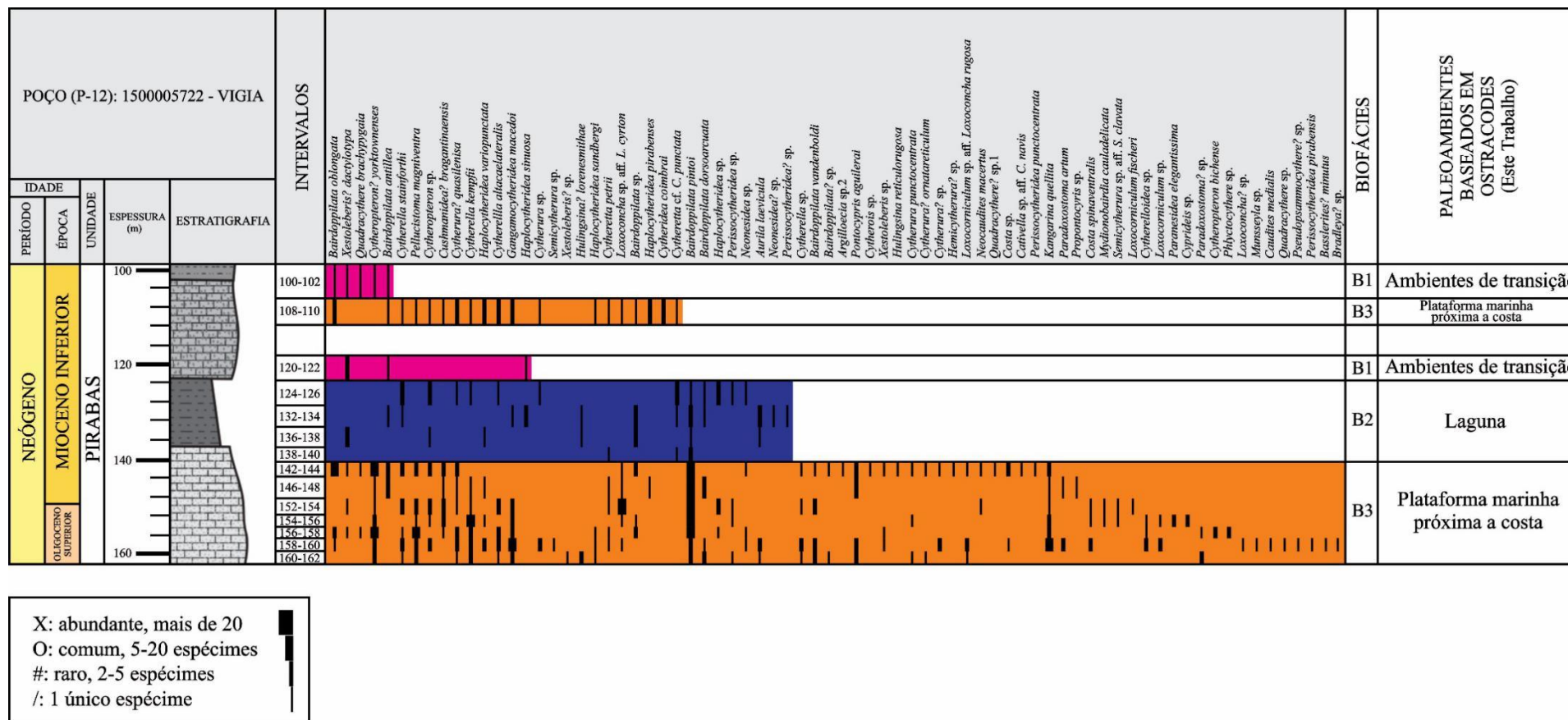


Figura 10- Perfil litoestratigráfico dos níveisossilíferos da localidade P12 Vigia - VN (Formação Pirabas) integrando indicadores paleoambientais como abundância relativa, presença e ausência de espécies, e diversidade e interpretação paleoambiental com associação de fácies.

## 5.2 ASPECTOS BIOESTRATIGRÁFICOS

Muitas das espécies aqui documentadas são restritas estratigraficamente (por exemplo, *Cytherella stainforthi* Bold 1960, *Neocaudites macertus* Stephenson 1944 e *Paranesidea elegantissima* Bold 1946) e podem ser usadas para refinar o zoneamento bioestratigráfico anterior usando ostracodes (Fernandes & Távora 1990, Távora & Fernandes 1999, Ramos *et al.* 2004; Nogueira & Nogueira 2017). Outras espécies, contudo, têm um longo alcance temporal e presumivelmente representam exemplos de estases morfológicas a longo prazo (Nogueira & Nogueira 2017). Cinco espécies de ostracodes (*Cytherella stainforthi*, *Quadracythere brachypygaia* Bold 1965, *Neocaudites macertus*, *Glyptobairdia crumena* Stephenson 1946 e *Jugosocythereis pannosa* Brady 1869) são reconhecidas desde o Oligoceno até às recentes sucessões carbonáticas americanas e estão atualmente restritas à região caribenha na Costa do Golfo (Holden 1976, Machain-Castillo 1986, Bold 1988). Estas foram úteis para o biozoneamento na Formação Pirabas (Nogueira & Nogueira 2017), e restritas dentro das zonas reconhecidas internacionalmente de N4 e N5 de Blow (1969) e Wade *et al.* (2011), assim como para o presente estudo (figura 11).

Neste trabalho, há a ocorrência de três espécies já identificadas em trabalhos anteriores que contribuíram para o zoneamento bioestratigráfico da Amazônia Oriental: *Cytherella stainforthi* (14 espécimes), *Quadracythere brachypygaia* (2 espécimes) e *Neocaudites macertus* (1 espécime) (figura 10). Mesmo com a ausência de *Triebelina crumena* Bold 1946 e *Jugosocythereis pannosa*, o primeiro e último aparecimento de *N. macertus* e o último aparecimento de *Q. brachypygaia* nesta localidade indica deposição iniciada no período do Mioceno Inferior, assim como *C. stainforthi* tem uma frequente ocorrência ao longo do perfil estratigráfico na localidade deste estudo, indicando que a deposição iniciou desde o Oligoceno e se estendeu até o Mioceno Inferior (Nogueira & Nogueira 2017, figura 2).

Três divisões no biozoneamento foram reconhecidos neste trabalho: 1) A biozona *Cytherella stainforthi* é determinada pelo seu primeiro aparecimento e último aparecimento de *Quadracythere brachypygaia*; 2) A sub-biozona *Q. brachypygaia* é marcada pelo primeiro aparecimento de *C. stainforthi* e primeiro e último aparecimento de *Neocaudites macertus* e 3) A sub-biozona *N. macertus* é demarcada pelo primeiro e último aparecimento de *N. macertus* e pelo último aparecimento de *Q. brachypygaia*. Esta correlação é consistente com a fornecida pelo biozoneamento internacional de foraminíferos planctônicos (Blow 1969, Wade *et al.* 2011), e conforme o biozoneamento de ostracodes totalmente preenchido para a região do

Caribe (Bold 1983, 1988), além do biozoneamento realizado na mesma unidade em trabalhos prévios (Nogueira & Nogueira 2017).

POÇO (P-12): 1500005722 - VIGIA					INTERVALOS	PRESENTE TRABALHO					
PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	ESPESSURA (m)	ESTRATIGRAFIA		<i>Cytherella stainforthi</i>	<i>Quadracythere brachypygaia</i>	<i>Neocaudites macertus</i>	BIOZONAS DE OSTRACODE DE AMBIENTE MARINHO RASO NOGUEIRA & NOGUEIRA 2017	ZONAS N DE DE BLOW (1969)	ZONAS DE WADE ET AL. (2011)
NEÓGENO	MIOCENO	PIRABAS	100		100-102	●			BIOZONA <i>Cytherella stainforthi</i>	ZONAS N5(?) A N7	M1b/M43(?) M4a/M4b
			108-110		●						
120-122											
124-126	●										
132-134	●										
136-138											
138-140											
142-144	●										
146-148	●										
152-154	●										
OLIGOCENO SUPERIOR			154-156	●		●		SUB-BIOZONA <i>Quadracythere brachypygaia</i>	ZONA N4	M1a/M1b	
			156-158	●							
			158-160	●							
			160-162	●							
								SUB-BIOZONA <i>Neocaudites macertus</i>			

Figura 11- Intervalos estratigráficos e biozoneamento do furo de calha P12 Vigia - VN provenientes da localidade de Vigia do Oligo-Mioceno da Formação Pirabas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os paleoambientes identificados previamente para a Formação Pirabas também foram identificados neste estudo, estando relacionados aos dados obtidos a partir dos ostracodes e foraminíferos bentônicos. Com base nas espécies de ostracodes do deste estudo, integrando as análises multivariadas (*Cluster*, Simpson, Shannon, Alpha-Fisher, Equitabilidade, Taxa S, NMDS e SIMPER) com os indicadores paleoambientais como abundância relativa, diversidade e interpretação paleoambiental identificou-se 3 biofácies de ostracodes (B): B1, B2 e B3.

Dentre estes, o grupo B1 está relacionado às fácies de ambientes de transição (mangues e lagunas); o grupo B2 às fácies lagunares e o grupo B3 aos paleoambientes de plataforma marinha próxima à costa. Pode-se inferir que a predominância de maior diversidade e abundância se encontra entre os intervalos mais basais do perfil estratigráfico, representados pelo grupo B3, e de menor diversidade e abundância entre os intervalos mais superiores dentro da B1 e B2. Isto demonstra conformidade às análises de diversidade e abundância relativa, onde da base ao topo ocorre uma gradativa influência continental, sendo que do topo para a base essa influência é mais marinha com porções mais próximas à linha de costa, e isso está diretamente relacionado à litologia, onde os intervalos se encontram. Estes dados estão concordantes com os valores de riqueza de espécies ou Taxa (S), Shannon (H'), Alpha-Fisher, e Equitabilidade (J), onde máximos valores se encontram nos intervalos mais basais e indicam condições neríticas, e mínimos valores se encontram nos intervalos mais superiores da seção, indicando condições mais salobras, cujos ambientes são de zonas transicionais.

O biozoneamento realizado neste estudo contribuirá no levantamento de novos *insights* para aplicações na bioestratigrafia da Formação Pirabas, com base na definição de uma biozona e 2 sub-biozonas ao nível regional e global durante o Cenozoico já registradas em estudos prévios, possibilitando o estabelecimento de correlações laterais, fundamentais para o entendimento e organização das bacias sedimentares e seus processos deposicionais no norte do Brasil. Além disso, os depósitos da Formação Pirabas, conforme os novos dados obtidos aqui, ampliaram seus locais de ocorrências, sendo delimitados também em porções mais a oeste da Plataforma Bragantina (Formação Pirabas), estado do Pará. Ressalta-se aqui também que o reconhecimento da maioria das espécies de ostracodes registradas anteriormente para a unidade contribuiu para a ampliação deste zoneamento e auxiliou na mudança de configuração entre os limites de bacias com a Plataforma Bragantina, permitindo, portanto, um melhor entendimento dos limites das mesmas.

## REFERÊNCIAS

- Aguilera O. & Páes E. 2012. The Pirabas Formation (Early Miocene from Brazil) and the Tropical Western Central Atlantic Subprovince. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **7**(1): 29-45.
- Aguilera O., Guimarães G.T.F., Moraes-Santos H. 2013a. Neogene Eastern Amazon carbonate platform and the palaeoenvironmental interpretation. *Swiss Journal of Palaeontology*, **132**: 99-118.
- Aguilera O.A., Moraes-Santos H., Costa S., Ohe F., Jaramillo C., Nogueira A. 2013b. Arid catfishes from the coeval Pirabas (Northeastern Brazil), Cantaure, Castillo (Northwestern Venezuela), and Castilletes (North Colombia) formations (Early Miocene), with description of three new species. *Swiss Journal of Palaeontology*, **132**: 45-68.
- Aguilera O., Lundberg J., Birindeli J., Pérez M.S., Jaramillo C., Sánchez-Villagra M.R. 2013c. Palaeontological Evidence for the Last Temporal Occurrence of the Ancient Western Amazonian River Outflow into the Caribbean. *Plos One Journal*, **8**(9): e76202.
- Aguilera O., Schwarzhans 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.
- Aguilera O., Luz Z., Carillo-Briceño J.D., Kocsis L., Vennenmann T.W., Toledo P.M., Nogueira A., Amorim K.B., Moraes-Santos H., Polck M.R., Ruivo M.L., Linhares A.P., Monteiro-Neto C. 2017. Neogene sharks and rays from the Brazilian “Blue Amazon”. *Plos One Journal*, **12**(8): e0182740.
- Aguilera O., Araújo O.M.O., Hendy A., Nogueira A.A.E., Nogueira A.C.R., Maurity C.W., Kutter V.T., Martins M.V.A., Coletti G., Dias B.B., Silva-Caminha S.A.F., Jaramillo C., Bencomo K., Lopes R.T. 2020. Palaeontological framework from Pirabas Formation (North Brazil) used as potential model for equatorial carbonate platform. *Marine Palaeontology*, **154**: 101813.
- Albert J.S., Val P., Hoorn C. 2018. The changing course of the Amazon River in the Neogene: center stage for Neotropical diversification. *Neotropical Ichthyology*, **16**(3): e180033.
- Alvim A.M.V., Santos R.V., Roddaz M., Antoine P.O., Ramos M.I.F., Carmo D.A., Linhares A.P., Negri F.R. 2021. Fossil isotopic constraints (C, O and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) on Miocene shallow-marine incursions in Amazonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **573**(1): 110422.
- Amorim K.B. 2016. *Paleoambiente, paleogeografia e isótopos de carbono e oxigênio de depósitos carbonáticos miocenos da Plataforma Bragantina, Nordeste do estado do Pará, Brasil*. PhD Theses. Universidade Federal do Pará, Belém, 130p.
- Antonioli L., Távora V.A., Dino R. 2015. Palynology of carinoliths and limestones from the Baunilha Grande Ecofacies of the Pirabas Formation (Miocene of Pará state, northeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **62**: 134-147.

- Armstrong H. & Brasier M.D. (ed.). 2005. *Microfossils*. 2nd. Oxford. Reino Unido, Blackwell Publishing, 306 p.
- Bergue C.T. 2006. A aplicação dos ostracodes (*Crustacea*) em pesquisas paleoceanográficas e paleoclimáticas. *Terra e Didática*, **2**(1): 54-66.
- Bergue C.T., Ritter M.N., Coimbra J.C., Costa K.B. 2021. Climatically induced changes in Late Quaternary bathyal Ostracod assemblages of the Camamu Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, **51**(4): e20210039.
- Besonen M.R. 1997. *The Middle and Late Holocene geology and landscape evolution of the Lower Acheron River Valley, Epirus, Greece*. MS Dissertation. University of Minnesota, Minnesota, 161p.
- Beurlen K. 1958. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Crustáceos decápodos da Formação Pirabas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **5**: 1-48.
- Blow W.H. 1969. Late Middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In: Brönniman P. & Renz H.H. (eds.). *Proceedings of the first international conference on planktonic microfossils*. Leiden, E.J. Brill, p. 199-422.
- Bold W.A. van den. 1972. Ostracoda of the La Boca Formation, Panama Canal Zone. *Micropaleontology*, **18**(4): 410-442.
- Bold W.A. van den. 1983. Shallow marine biostratigraphic zonation in the Caribbean post Eocene. In: Maddocks R.F. *Applications of Ostracoda: Proceedings of the Eighth International Symposium on Ostracoda*, Houston, University of Houston, Department of Geosciences, p. 400-416.
- Bold W.A. van den. 1988. Neogene Paleontology in the Northern Dominican Republic. 7. The Subclass Ostracoda. *Bulletin of American Paleontology*, **94**(329): 1-105.
- Bray J.R. & Curtis J.C. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**: 325-349.
- Brandão J.A.S.L. & Feijó F.J. 1994. Bacia do Pará-Maranhão. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **8**(1): 101-102.
- Brasier M.D. 1980. The Lower Cambrian transgression and glauconite-phosphate facies in western Europe. *Journal of the Geological Society*, **137**(6): 695-703.
- Brito D.D. 2000. Global stratigraphy, palaeobiogeography and palaeoecology of Albian-Maastrichtian pithonellid calcispheres: impact on Thetys configuration. *Cretaceous Research*, **21**(2-3): 315-349.
- Cabral M.C.S. 1995. *Ostracodeos do Cretácico Inferior do Algarve e da região de Lisboa: sistemática, bioestratigrafia, aspectos paleoecológicos e paleobiogeográficos*. PhD Theses. Universidade de Lisboa, Lisboa, 442p.
- Clarke K.R. 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, **18**: 117-143.

- Clarke K.R. & Warwick W.M. 1994. Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. *Marine Biology*, **118**: 167-176.
- Costa S.A.R.F. 2011. *Ictiólitos da Formação Pirabas, Mioceno do Pará, Brasil, e suas implicações paleoecológicas*. PhD Theses. Universidade Federal do Pará, Belém, 114p.
- Costa J.B.S., Hasui Y., Bemerguy R.L., Soares Jr A.V., Villegas J.M.C. 2002. Tectonics and paleogeography of the Marajó Basin, northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **74**(3): 519-531.
- Costa J.B.S., Borges M.S., Bemerguy R.L., Fernandes J.M.G., Costa Jr. P.S., Costa M.L.A. 1993. Evolução cenozoica da região de Salinópolis, Nordeste do estado do Pará. *Geociências – UNESP*, **12**(2): 373-396.
- Damuth J.E. & Kumar N. 1975. Amazon Cone: morphology, sediments, age, and growth pattern. *Geological Society of America Bulletin*, **86**(6): 863-878.
- Duarte L.V. 2004. The geological heritage of the Lower Jurassic of Central Portugal: selected sites, inventory and main scientific arguments. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, **110**(1): 381-387.
- Echevarría A.E. & Távora V.A. 1992. Notícias sobre alguns ostracodes da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), procedentes do furo CB-UFPa-P1(85), Município de Capanema, Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **64**(4): 421.
- Faranda C., Cipollari P., Casentino D., Gliozzi E., Pipponzi G. 2008. Late Miocene ostracod assemblages from Eastern Mediterranean coral reef complexes (Central Crete, Greece). *Revue de Micropaléontologie*, **51**(4): 287-308.
- Fernandes J.M.G. 1988. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. **6**: 2376-2382.
- Fernandes J.M.G. & Távora V.A. 1990. Estudos dos foraminíferos da Formação Pirabas procedentes do furo CB-UFPa-P1 (85), município de Capanema, estado do Pará. In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. **1**: 470-475.
- Ferreira C.S. 1964. Contribuição à paleontologia do estado do Pará. Um novo *Xancus* da Formação Pirabas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **10**: 1-8.
- Ferreira C.S. 1966. Características fito-paleontológicas na Formação Pirabas, estado do Pará. In: DIGEM-DNPM, Conferência Geológica das Guianas, Rio de Janeiro. *Resumos*. **6**: 101-111.
- Ferreira C.S. 1980. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) N e NE do Brasil com as formações Chipola e Tampa da Península da Flórida-USA. In: 1º Congresso Latino-Americano de Geologia, p. 49-55.
- Ferreira C.S. 1982. Notas estratigráficas sobre o Cenozoico marinho do estado do Pará. In: SBG – Núcleo Norte, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. *Anais[...]*. v.1, p. 84-88.
- Ferreira C.S. & Cassab R.C.T. 1985. Implicações faciológicas da família Pectinidae, Mollusca, Bivalvia da Formação Pirabas, Oligo-Mioceno do Norte e Nordeste do Brasil. In: DNPM, 8º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Rio de Janeiro. *Atas[...]*. p.205-209.

Ferreira C.S. & Cunha O.R. 1959. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Novos invertebrados fósseis e descrição de mais duas espécies da Formação Pirabas, III (Mollusca – Gastropoda). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **4**(1-2): 1-35.

Ferreira C.S. & Francisco B.H.R. 1988. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no NE do Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais[...]. v.2 p. 761-764.*

Ferreira C.S., Macedo A.C.M., Assis J.F.P. 1978. A Formação Pirabas no Estado do Pará - novo registro de subsuperfície: Belém (furo 4BE-01-PA, CPRM). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **50**(3): 427.

Ferreira C.S., Vicalvi M.A., Macedo A.C.M. 1984. Os limites meridionais da bacia de Pirabas. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. Anais[...], v.1, p. 326-329.*

Ferreira Penna D.S. 1876. Breve notícia sobre os sambaquis do Pará. *Arquivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro*, **1**: 85-99.

Figueiredo J., Hoorn C., van der Ven P., Soares E. 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology*, **37**(7): 619-622.

Freimann B.C., Alves J.G.V, Silva M.W.C. 2014. Estudo hidrogeológico através de perfis geofísicos de poços – Salinópolis-PA. *Águas Subterrâneas*, **28**(1): 14-30.

Góes A.M. & Truckenbrodt W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. *In: SBG, 31º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. Anais[...]. v.2 p. 766-771.*

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*, **2**: 3-15.

Hasui Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. *Boletim do Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozoica Continental no Sudeste Brasileiro*, **1**(11): 1-32.

Helal S.A. & El Baz S.M. 2023. Middle Eocene Ostracods from southeast Fayoum area, Egypt: Systematics, paleobathymetry and paleobiogeography. *Annales de Paléontologie*, **109**(1): 102598.

Holden J.C. (ed.). 1976. *Late Cenozoic Ostracoda from Midway Island drill holes (Geology of the Midway area, Hawaiian islands)*. Washington, U.S. Government Printing Office, 680 p.

Hoorn C., Bogotá-A G.R., Romero-Baez M., Lammertsma E.I., Flantua S.G.A., Dantas E.L., Dino R., do Carmo D.A., Chemale Jr. F. 2017. The Amazon at sea: onset and stages of the Amazon River from a marine record, with special reference to Neogene plant turnover in the drainage basin. *Global and Planetary Change*, **153**: 51-65.

Howe H.V., Kesling R.V., Scott H.W. 1961. Morphology of living Ostracoda. *In: Moore R.C. & Pitrat C.W. (eds.). Treatise on Invertebrate Paleontology: Part Q – Arthropoda 3.* Kansas City, University of Kansas Press, Geological Society of America, p. 3-16.

- Huang H.H.M., Yasuhara M., Iwatani H., Zarikian C.A.A., Bassetti M.A., Sagawa T. 2018. Benthic biotic response to climate changes over the last 700.000 years in a deep marginal sea: impacts of deoxygenation and the Mid-Brunhes Event. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, **33**(7): 766-777.
- Hussain S.M. & Kalaiyarasi A. 2013. Distribution of Ostracodea in the Mullipallam Lagoon, near Muthupet, Tamil Nadu, Southeast Coast of India – Implications on microenvironment. *In: Sundaresan J., Skreekesh S., Ramanathan A.L., Sonnenschein L., Boojh R. (eds.). Climate change and island and Coastal Vulnerability*. Nova Delhi, Capital Publishing Company, Springer, p. 166-176.
- Hussain S.M., Ganesan P., Ravi G., Mohan S.P., Sridhar S.G.D. 2007. Distribution of Ostracodea in marine and marginal marine habitats off Tamil Nadu and adjoining areas, southern east coast of India and Andaman Islands: environmental implications. *Indian Journal of Marine Sciences*, **36**(4): 369-377.
- Keen M.C. 1977. Cenozoic Ostracoda – North Atlantic. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, **6**: 467-493.
- Kenkel N.C. & Orłóci L. 1986. Applying metric and nonmetric multidimensional scaling to ecological studies: some new results. *Ecology*, **67**(4): 919-928.
- Legendre P. & Legendre L. 2012. *Numerical ecology*. 3. ed. Oxford, Elsevier, 1006 p.
- Leite F.P.R. 1997. *Palinofloras Neógenas da Formação Pirabas e Grupo Barreiras, Área Litorânea, Nordeste do Estado do Pará, Brasil*. MS Dissertation. Universidade de São Paulo, São Paulo, 102p.
- Leite F.P.R. 2004. Palinologia. *In: Rossetti D. & Góes A.M. (eds.). O Neógeno da Amazônia Oriental*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 55-90.
- Liebau A. 2005. A revised classification of the higher taxa of the Ostracoda (Crustacea). *Hydrobiologia*, **538**: 115-137.
- Macedo A.C.M. 1970. *Sobre a distribuição de Ostracoda no Mioceno caribeano com um estudo especial sobre os ostracodes da Formação Pirabas, Pará, Brasil. Rio de Janeiro*. MS dissertation. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 62p.
- Macedo A.C.M. 1971. Considerações sobre os ostracodes do Mioceno marinhos do Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43** (suplemento): 523-528.
- Macedo A.C.M. 1972. Correlação micropaleontológica entre as formações Pirabas (Pará, BR) e Chipola (Florida, USA). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **44**(3/4): 586.
- Macedo A.C.M. 1973. Notícias sobre testemunhos de subsuperfície da Formação Pirabas do Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **45**(3/4): 655.
- Macedo A.C.M. 1977. Microfósseis como indicadores de fácies - o problema da amostragem. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **49**(2): 355.
- Macedo A.C.M. 1981. Associações de ostracodes e interpretação de paleoambientes no Mioceno do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **53**(3): 622.

- Macedo A.C.M. 1983a. Hemicytheridae e Trachyleberididae no Mioceno do Estado do Pará (Formação Pirabas): uma integração paleogeográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **55**(1): 140.
- Macedo A.C.M. 1983b. Ostracodes como objeto de pesquisa paleontológica: uma experiência. In: SBG, 8º Congresso Brasileiro de Paleontologia, Rio de Janeiro. *Resumos das Comunicações*. p. 72.
- Macedo A.C.M. 1985. Comentários sobre os ostracodes da fácies Castelo, Formação Pirabas, Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **57**(1): 140.
- Macedo A.C.M. 1988. Autoecologia de ostracodes fósseis: problemas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **60**(1): 111.
- Machado C.P., Coimbra J.C., Carreño A.L. 2005. The ecological and zoogeographical significance of the sub-recent Ostracoda off Cabo Frio, Rio de Janeiro State, Brazil. *Marine Micropaleontology*, **55**(3-4): 235-253.
- Machain-Castillo M.L. 1986. Ostracode biostratigraphy and paleoecology of the Pliocene of the Isthmian Salt Basin, Veracruz, Mexico. *Tulane studies in Geology and Paleontology*, **19**(3): 123-139.
- Magurran A.E. 2021. Measuring biological diversity. *Current Biology Magazine*, **31**(19): R1174-R1177.
- Malz H. & Triebel E. 1970. Ostracoden aus dem Sannois und jüngeren Schichten des Mainzer Beckens - 2: Hemicyprideis ng. *Senckenbergiana. Lethaea*, **51**(1): 1-47.
- Martínez S., Ramos F.I.J., 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): 57-64.
- Maury C.J. 1925. *Fósseis Terciários do Brasil com descrição de novas formas Cretáceas*. Monografia. Rio de Janeiro, Serviço Geológico e Mineiro do Brasil, 705p.
- Mesquita A.C.F. 1995. *Microbioestratigrafia do Terciário da Bacia de Santos, com base em Foraminíferos Planctônicos*. MS Dissertation. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 167p.
- Moizinho G.R., Vieira L.C., Santos R.V., Nogueira A.C.R., Dantas E.L., Roddaz M. 2022. Provenance of Miocene-Pleistocene siliciclastic deposits in the Eastern Amazonia coast (Brazil) and paleogeographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, **587**(1): 110799.
- Moore R.C. 1962. Conodont classification and nomenclature. In: Moore R.C., Pitrat C.W., Zeller D.E.N., McCormick L. (eds.). *Treatise on Invertebrate Paleontology: Part W – Miscellanea – Conodonts, Conoidal Shells of uncertain affinities, Worms, Trace fossils and Problematica*. Kansas City, University of Kansas Press, Geological Society of America, p. 92-97.

Morris E.K., Caruso T., Buscot F., Fischer M., Hancock C., Maier T.S., Meiners T., Müller C., Obermaier E., Prati D., Socher S.A., Sonnemann I., Wäschke N., Wubet T., Wurst S., Rillig M.C. 2014. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, **4**(18): 3514-3524.

Muricy G., Domingos C., Távora V.A., Ramalho L.V., Pisera A., Taylor P. 2016. Hexactinellid sponges reported from shallow Waters in the Oligo-Miocene Pirabas Formation (N Brazil) are in fact cheilostome bryozoans. *Journal of South American Earth Sciences*, **72**: 387-397.

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.

Nogueira A.A.E. & Ramos M.I.F. 2016. The genus *Perissocytheridea* Stephenson, 1938 (Crustacea: Ostracoda) and evidence of brackish water facies along the Oligo-Miocene, Pirabas Formation, eastern Amazonia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **65**: 101-121.

Nogueira A.A.E., Ramos M.I.F., Hunt G. 2019. Taxonomy of ostracods from the Pirabas Formation (Upper Oligocene to Lower Miocene), Eastern Amazonia (Pará state, Brazil). *Zootaxa*, **4573**(1): 1-111.

Nogueira A.A.E., Ramos M.I.F., Puckett T.M. 2011. The genera *Haplocytheridea* Stephenson, 1936 and *Cytheridea* Bosquet, 1852 (Subphylum Crustacea, Class Ostracoda) from the Early Miocene Pirabas Formation, Brazil. *Revue de Micropaléontologie*, **54**(4): 215-235.

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*, **46**: 89-99.

Nogueira A.C.R., Amorim K.B., Góes A.M., Truckenbrodt W., Petri S., Nogueira A.A.E., Bandeira J., Soares J.L., Baía L.B., Imbiriba Jr. M., Bezerra I.S., Ribas C.C., Cracraft J. 2021. Upper Oligocene-Miocene deposits of Eastern Amazonia: implications for the collapse of Neogene carbonate platforms along the coast of northern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, **563**: 110178.

Oertli H.J. (ed.). 1971. *Paléocéologie des Ostracodes*. Paris, Bulletin du Centre de Recherches de Pau.

Paula-Couto C. 1967. Contribuição à paleontologia do estado do Pará: um sirênio na Formação Pirabas. In: CNPQ, Simpósio sobre a Biota Amazônica, Rio de Janeiro. *Atas[...]*.1: 345-357.

Petri S. 1952. Ocorrências de foraminíferos fósseis no Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP*, **134**(7): 21-42.

Petri S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP*, **216**(16): 1-79.

Pokorný V. 1964. Some palaeocological problems in marine ostracode faunas, demonstrated on the Upper Cretaceous ostracodes of Bohemia (Czechoslovakia). *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli*, **33**: 462-479.

- Pokorný V. 1971. The diversity of fossil ostracode communities as an indicator of paleogeographic conditions. *In: Oertli H.J. (ed.). Paléoécologie des Ostracodes*. Paris, Bulletin du Centre de Recherches de Pau, 45-61.
- Puckett T.M. 1994. New Ostracoda species from an Upper Cretaceous oyster reef, northern gulf coastal plain, USA. *Journal of Paleontology*, **68**(6): 1321-1335.
- Puckett T.M. 2012. Paleogeographic significance of muscle scar in global populations of Late Cretaceous Ostracodes. *Micropaleontology*, **58**(3): 1-14.
- Ramalho L.V., Távora V.A., Zágoršek K. 2017. New records of the bryozoan *Metrarabdotos* from the Pirabas Formation (Lower Miocene), Pará state, Brazil. *Palaeontologia Electronica*, **20.2.32A**: 1-11.
- Ramalho L.V., Távora V.A., Tilbrook K.J., Zágoršek K. 2015. New species of Hippopleurifera (Bryozoa, Cheilostomata) from the Miocene Pirabas Formation, Pará state, Brazil. *Zootaxa*, **3999**(1): 125-134.
- Ramos M.I.F., Whatley R.C., Coimbra J.C. 2004. Sub-recent marine Ostracoda (Pontocyprididae and Bairdiidae) from the southern Brazilian Continental Shelf. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(3): 311-318.
- Ramos M.I.F., Coimbra J.C., Whatley R.C., Mognilevsky A. 1999. Taxonomy and ecology of the family Cytheruridae (Ostracoda) in recent sediments from the Northern Rio de Janeiro coast, Brazil. *Journal of Micropalaeontology*, **18**(1): 1-16.
- Rojas L.E.G., Nogueira A.A.E., Soares J.L., Nogueira A.C.R., Imbiriba Jr. M. 2022. Biostratigraphy and paleoenvironment correlation based on benthic foraminifera from the Cenozoic Marajó and Pirabas formations, Eastern Amazon Coast. Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **120**: 104035.
- Rossetti D.F. 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of American Earth Sciences*, **14**: 77-89.
- Rossetti D.F. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Revista do Instituto de Geociências da USP*, **6**(2): 7-18.
- Rossetti D.F. & Góes A.M. 2004. Facies analysis of the Codó Formation (Late Aptian) in the Grajaú area, southern São Luís-Grajaú Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **76**(4): 719-806.
- Rossetti D.F., Bezerra F.H.R., Dominguez J.M.L. 2013. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews*, **123**: 87-112.
- Rossetti D.F., Góes A.M., Truckenbrodt W. 1990. A influência marinha nos Sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **2**: 17-29.
- Rossetti D.F., Truckenbrodt W., Santos Jr. E. 2001. Clima do Cretáceo no Meio-Norte brasileiro. *In: Rossetti D.F., Góes A.M., Truckenbrodt W. (eds.). O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 67-76.

Rossetti D.F., Góes A.M., Toledo P.D., Santos Jr. A.E.A., Paz J.D.S. (eds.). 2004. Evolução de paisagens do Neógeno da Amazônia: implicações na origem e distribuição da biodiversidade. *In: Seminário de Resultados do Estudo Estratégico: bases científicas para a conservação da várzea*. Belém, IBAMA, *Anais[...]*, 26p.

Salas M.J., Waisfeld B.G., Muñoz D.F. 2018. Radiation, diversity and environmental expansion of Early Ordovician ostracods: a view from the Southern Hemisphere. *Lethaia*, **52**: 107-122.

Santos M.E.C.M. 1958. Boletim Nº 197 – Equinoides miocênicos da Formação Pirabas. *Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, 24p. (Boletim Nº 197).

Santos M.E.C.M. & Castro J.S. 1967. Moluscos cenozoicos de água doce do Alto Amazonas. *In: CNPQ, Simpósio sobre a Biota Amazônica*, Rio de Janeiro. *Anais[...]*. v.1, p. 411-424.

Santos R.S. & Travassos H. 1960. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará: Peixes Fósseis da Formação Pirabas. Monografia. *Divisão de Geologia e Mineralogia – DNPM*, Rio de Janeiro, 35p.

Santos Filho M.A.B., Piovesan E.K., Fauth G., Srivastava N.K. 2015. Paleoenvironmental interpretation through the analysis of Ostracods and carbonate microfacies: study of the Jandaíra Formation, Upper Cretaceous, Potiguar Basin. *Brazilian Journal of Geology*, **45**(1): 23-34.

Sayed M.M., Abd El-Gaied I.M., Abdelhady A.A., Abd El-Aziz S.M. Wagreich M. 2022. Ostracods sensitivity to reconstructing water depths and oxygen levels: A case from the Middle-Late Eocene of the Beni Suef area (Egypt). *Marine Micropaleontology*, **175**: 102155.

Schaller H., Vasconcelos D.N., Castro J.C. 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. *In: SBG, 25º Congresso Brasileiro de Geologia*, São Paulo. *Anais e Resumos[...]*. v.3, p. 189-202.

Soares Jr. A.V., Costa J.B.S., Hasui Y. 2008. Evolução da Margem Atlântica Equatorial: três fases distensivas. *Boletim UNESP - Geociências*, **27**(4): 427-437.

Soulimane C., Marok A., Reolid M. 2020. Similarity analysis of Ostracoda faunas in the Western Tethys during the Late Pliensbachian-Early Toarcian (Early Jurassic). *Arabian Journal of Geosciences*, **13**(136): 1-12.

Stephenson M.B. 1945. Two new Ostracoda from subsurface Cook Mountain (Eocene) strata of Texas. *Journal of Paleontology*, **19**(4): 380-382.

Swain F.M. 1963. Pleistocene ostracoda from the Gubik Formation, Arctic coastal plain, Alaska. *Journal of Paleontology*, **37**(4): 798-834.

Távora V.A. 1992. *Ostracodes da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) no estado do Pará, Brasil*. MS Dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 88p.

Távora V.A. 1994a. Bythocytheridae, Cytherideidae e Cytheruridae (Crustacea-Ostracoda) na Formação Pirabas (Eomioceno) - Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **6**: 91-113.

- Távora V.A. 1994b. Hemicytheridae, Loxoconchidae, Paradoxostomatidae, Pectocytheridae e Trachyleberididae (Crustacea-Ostracoda) na Formação Pirabas (Eomioceno) - Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **6**: 115-140.
- Távora V.A. 1994c. Ostracodes da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) no Estado do Pará. *Acta Geológica Leopoldensia*, **17**(39/1): 119-129.
- Távora V.A. 1998. Ocorrência de uma nova espécie de ostracoda na Formação Pirabas (Eomioceno) - Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **10**: 3-15.
- Távora V.A. & Fernandes J.M.G. 1999. Estudio de los foraminíferos de la Formación Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil, y su correlación com faunas del Caribe. *Revista Geológica de América Central*, **22**: 59-70.
- Távora V.A., Morais W.K.S., Gonçalves D.F. 2001a. Paleoecologia dos ostracodes da Formação Pirabas (Eomioceno) - Estado do Pará. *Revista Brasileira de Paleontologia*, (2): 101, jul./dez.
- Távora V.A., Lima Jr. R.F., Leite A.S. 2001b. A zona *Pokorniella* "saginata" (sensu Bluter) / *P. laresensis* (Bold) na Formação Pirabas (Eomioceno) - Estado do Pará. *Revista Brasileira de Paleontologia*, (2): 102, jul./dez.
- Távora V.A., Pontes K.G.A., Mesquita N. 2005. Sistemática e tafonomia dos cirrípedes balanomorfos da Formação Pirabas (Eomioceno), estado do Pará, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, **63**(3): 459-470.
- Távora V.A., Paixão G.M.C., Silva F.A. 2010a. Considerações filogenéticas e biogeografia histórica dos malacostráceos (decápodes e isópodes) cenozóicos do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **40**(1): 47-58.
- Távora V.A., Santos A.A.R., Nogueira Neto I.L.A. 2010b. Eventos biológicos da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). *Revista Brasileira de Geociências*, **40**(2): 256-264.
- Toledo P.M. & Domning D.P. 1989. Fóssil Sirenia (Mammalia: Dungongidae) from the Pirabas Formation (Early Miocene), Northern Brazil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **1**(2):119-146.
- Toledo P.M., McDonald G.H., Souza Filho J.P., Rossetti D.F. 1997. Contribuição para a paleontologia no Estado do Pará. Presença de Crocodília na Formação Pirabas, Mioceno Inferior. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **9**: 107-113.
- Urdidinea J.S.A. 1978. *Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas – Estado do Pará*. PhD Theses, UFRGS, Porto Alegre, 198p.
- Van Soelen E.E., Kim J.H., Santos R.V., Dantas E.L., Almeida F.V., Pires J.P., Roddaz M., Damsté J.S.S. 2017. A 30 Ma history of the Amazon River inferred from terrigenous sediments and organic matter on the Ceará Rise. *Earth and Planetary Science Letters*, **474**: 40-48.
- Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.M.G., Ricci P.S.F., Barbosa J.P.O., Klein E.L., Lopes E.C.S., Macambira E.M.B., Chaves C.L., Carvalho J.M.A., Oliveira J.V.F., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. Unidades Litoestratigráficas. In: Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. (orgs.). *Geologia e recursos minerais do Estado do Pará*. Belém, CPRM, p. 113-216.

Wade B.S., Pearson P.N., Berggren W.A., Pälike H. 2011. Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. *Earth-Science Reviews*, **104**(1-3): 111-142.

Whatley R.C. & Watson K. 1988. A preliminary account of the distribution of Ostracoda in recent reef and reef associated environments in the Pulau Seribu or Thousand Island Group, Java Sea. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, **11**: 399-411.

White C.A. 1887. Contribuições á paleontologia do Brazil. *Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro*, **7**: 1-273.

Wolff B. 1984. *Microfacies, depositional environments, and diagenesis of the Amapá carbonates (Paleocene-middle Miocene), Foz do Amazonas Basin, offshore NE Brasil*. Orientador: Albert V. Carozzi. PhD Theses, University of Illinois at Urbana -Champaign, 102p.

Zalán P.V. & Matsuda N.S. 2007. Bacia do Marajó. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2): 311-319.

**ANEXO A – LISTA SISTEMÁTICA**

Classe OSTRACODA Latreille, 1802

Subclasse PODOCOPA Müller, 1894

Ordem PLATYCOPIIDA Sars, 1866

Subordem PLATYCOPIINA Sars, 1866

Superfamília CYTHERELLOIDEA Liebau, 2005

Família CYTHERELLIDAE Sars, 1866

Gênero *Cytherella* Jones, 1849

*Cytherella stainforthi* van den Bold, 1960

*Cytherella kempfi* Nogueira *et al.*, 2019

*Cytherella altacaelateralis* Nogueira *et al.*, 2019

*Cytherella* sp.

Gênero *Cytherelloidea* Alexander, 1931

*Cytherelloidea* sp.

Ordem PODOCOPIDA Sars, 1866

Subordem BAIRDIOCOPINA Gründel, 1967

Superfamília BAIRDIOIDEA Liebau, 2005

Família BAIRDIIDAE Sars, 1888

Gênero *Bairdoppilata* Coryell, Sample & Jennings, 1935

*Bairdoppilata antillea* van den Bold, 1946

*Bairdoppilata oblongata* van den Bold, 1946

*Bairdoppilata pinto* Nogueira *et al.*, 2019

*Bairdoppilata vandenboldi* Nogueira *et al.*, 2019

*Bairdoppilata dorsoarcuata* Nogueira *et al.*, 2019

*Bairdoppilata* sp.

*Bairdoppilata?* sp.

Gênero *Mydionobairdia* Titterton & Whatley, 1988

*Mydionobairdia cauladelicata* Nogueira *et al.*, 2019

Gênero *Neonesidea* Maddocks, 1969

*Neonesidea* sp.

*Neonesidea?* sp.

Gênero *Paranesidea* Maddocks, 1969

*Paranesidea elegantissima* van den Bold, 1946

Subordem CYPRIDOCOPINA Jones, 1901

Superfamília PONTOCYPRIDOIDEA Liebau, 2005

Família PONTOCYPRIDIDAE Müller, 1894

Gênero *Argilloecia* Sars, 1865

*Argilloecia* sp. 2

Gênero *Pontocypris* Sars, 1866

*Pontocypris aguilerai* Nogueira *et al.*, 2019

Gênero *Propontocypris* Sylvester-Bradley, 1947

*Propontocypris* sp.

Subordem CYTHEROCOPINA Gründel, 1967

Infraordem ARCHAEOCYTHERININA Liebau, 1991

Superfamília PARADOXOSTOMATOIDEA Liebau, 2005

Família PARADOXOSTOMATIDAE Brady & Norman, 1889

Subfamília PARADOXOSTOMATINAE Brady & Norman, 1889

Gênero *Paradoxostoma* Fischer, 1855

*Paradoxostoma artum* van den Bold, 1966a

*Paradoxostoma?* sp.

Gênero *Cytherois* Müller, 1884

*Cytherois* sp.

Família CYTHEROMATIDAE Elofson, 1939

Gênero *Pellucistoma* Coryell & Fields, 1937

*Pellucistoma magniventra* Edwards, 1944

Superfamília XESTOLEBERIDOIDEA Liebau, 2005

Família XESTOLEBERIDIDAE Sars, 1928

Gênero *Xestoleberis* Sars, 1866

*Xestoleberis? dactylotypa* van den Bold, 1946

*Xestoleberis* sp.

*Xestoleberis?* sp.

Subordem CYTHEROCOPINA Gründel, 1967

Infraordem NOMOCYTHERININA Liebau, 1991

Superfamília CYTHEROIDEA Liebau, 2005

Família CUSHMANIDEIDAE Puri, 1974 in Hartmann & Puri, 1974

Gênero *Cushmanidea* Blake, 1933

*Cushmanidea? Bragantinaensis* Nogueira *et al.*, 2019

Gênero *Hulingsina* Puri, 1958

*Hulingsina reticulorugosa* Nogueira *et al.*, 2019

*Hulingsina? lorensmithae* Nogueira *et al.*, 2019

Família CYTHERIDAE Baird, 1850

Subfamília PERISSOCYTHERIDEINAE van den Bold, 1963

Gênero *Gangamocytheridea* van den Bold, 1963

*Gangamocytheridea macedoi* Távora, 1998

Família CYTHERURIDAE Müller, 1894

Subfamília CYTHERURINAE Müller, 1894

Gênero *Cytheropteron* Sars, 1866

*Cytheropteron? yorktownensis* Malkin, 1953

*Cytheropteron bichense* van den Bold, 1963a

*Cytheropteron* sp.

Gênero *Cytherura* Sars, 1866

*Cytherura? punctocentrata* Nogueira *et al.*, 2019

*Cytherura? ornatareticulum* Nogueira *et al.*, 2019

*Cytherura? quasilenisa* Nogueira *et al.*, 2019

*Cytherura* sp.

*Cytherura?* sp.

Gênero *Hemicytherura* Elofson, 1941

*Hemicytherura?* sp.

Gênero *Semicytherura* Wagner, 1957

*Semicytherura* sp. aff. *S. clavata* (Brady, 1880) Whatley, Chadwick, Coxill & Toy, 1988

*Semicytherura* sp.

Gênero *Kangarina* Coryell & Fields, 1937

*Kangarina quellita* Coryell & Fields, 1937

Família LOXOCONCHIDAE Sars, 1925

Gênero *Loxoconcha* Sars, 1966

*Loxoconcha* sp. aff. *Loxoconcha cyrton* van den Bold, 1963

*Loxoconcha?* sp.

Subfamília LOXOCONCHINAE Sars, 1926

Gênero *Loxocorniculum* Benson & Coleman, 1963

*Loxocorniculum* sp. aff. *Loxoconcha rugosa* van den Bold, 1946

*Loxocorniculum fischeri* Brady, 1869

*Loxocorniculum* sp.

Subfamília LOXOCAUDINAE Schornikov, 2011

Gênero *Phlyctocythere* Keij, 1958

*Phlyctocythere* sp.

Família PECTOCYTHERIDAE Hanai, 1957

Gênero *Munseyella* van den Bold, 1957

*Munseyella* sp.

Superfamília TRACHYLEBERIDOIDEA Liebau, 2005

Família CYTHERETTIDAE Triebel, 1952

Subfamília CYTHERETTINAE Triebel, 1952

Gênero *Cytheretta* Müller, 1894

*Cytheretta* cf. *C. punctata* Sanguinetti, 1979

*Cytheretta petrii* Nogueira *et al.*, 2019

Família HEMICYTHERIDAE Puri, 1953a

Subfamília HEMICYTHERINAE Puri, 1953a

Gênero *Aurila* Pokorny, 1955

*Aurila laevicula* Edwards Swain, 1968

Gênero *Caudites* Coryell & Fields, 1937

*Caudites medialis* Coryell & Fields, 1937

Gênero *Neocaudites* Puri, 1960

*Neocaudites macertus* Stephenson, 1944

Família HEMICYTHERIDAE Puri, 1953a

Subfamília THAEROCYTHERINAE Hazel, 1967

Gênero *Bradleya* Hornibrook, 1952

*Bradleya?* sp.

Gênero *Quadracythere* Hornibrook, 1952

*Quadracythere brachypygaia* van den Bold, 1965

*Quadracythere?* sp. 1

*Quadracythere* sp.

Família TRACHYLEBERIDIDAE Sylvester-Bradley, 1948

Gênero *Costa* Neviani, 1928

*Costa spinaventralis* Nogueira *et al.*, 2019

*Costa* sp.

Gênero *Cativella* Coryell & Fields, 1937

*Cativella* sp. aff. *C. navis* Coryell & Fields, 1937

Gênero *Basslerites* Teichert, 1937

*Basslerites minutus* Bold, 1958

Superfamília CYTHERIDEOIDEA Liebau, 2005

Família CYTHERIDEIDAE Sars, 1925

Gênero *Cyprideis* Jones, 1857

*Cyprideis* sp.

Família KRITHIDAE Mandelstam, 1958

Gênero *Pseudopsammocythere* Carbonnel, 1966

*Pseudopsammocythere?* sp.

Subordem CYTHEROCOPINA, Gründel, 1967

Superfamília CYTHERIDEOIDEA Liebau, 1991

Família CYTHERIDEIDAE Sars, 1925

Subfamília CYTHERIDEINAE Sars, 1925

Tribo HAPLOCYTHERIDEINI Kollmann, 1958

Gênero *Haplocytheridea* Stephenson, 1936

*Haplocytheridea sandbergi* Nogueira *et al.*, 2011

*Haplocytheridea pirabasensis* Nogueira *et al.*, 2011

*Haplocytheridea variopunctata* Nogueira *et al.*, 2011

*Haplocytheridea sinuosa* Nogueira *et al.*, 2011

*Haplocytheridea* sp.

Tribo CYTHERIDEINI Kollman, 1958

Gênero *Cytheridea* Bosquet, 1852

*Cytheridea coimbrai* Nogueira *et al.*, 2011

Subfamília PERISSOCYTHERIDEINAE Bold, 1963

Tribo PERISSOCYTHEREIDINI van den Bold, 1963

Gênero *Perissocytheridea* Stephenson, 1938

*Perissocytheridea punctocentrata* Nogueira & Ramos, 2016

*Perissocytheridea pirabensis* Nogueira & Ramos, 2016

*Perissocytheridea* sp.

*Perissocytheridea?* sp.

## ANEXO B – PLATE 1

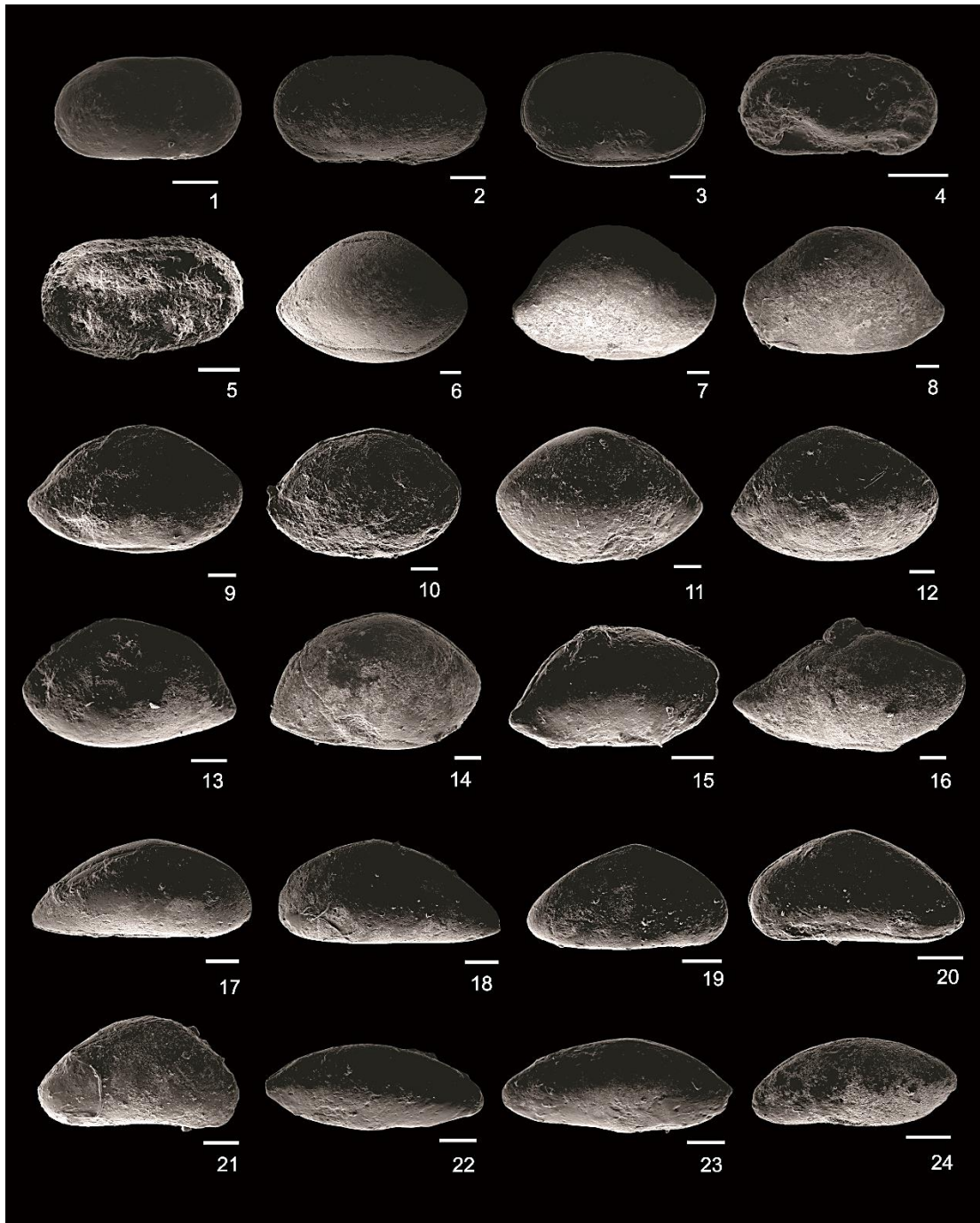


Plate 1- Barra de escala: 100  $\mu$ m. 1. *Cytherella kempfi*; 2. *Cytherella altacaelateralis*; 3. *Cytherella* sp. 4-5. *Cythereoidea* sp.; 6-8. *Bairdoppilata antillea*; 9. *Bairdoppilata oblongata*; 10-14. *Bairdoppilata pintoi*; 15-16. *Neonesidea* sp.; 17-20. *Pontocypris aguilerai*; 21. *Propontocypris* sp.; 22-24. *Paradoxostoma artum*.

## ANEXO C – PLATE 2

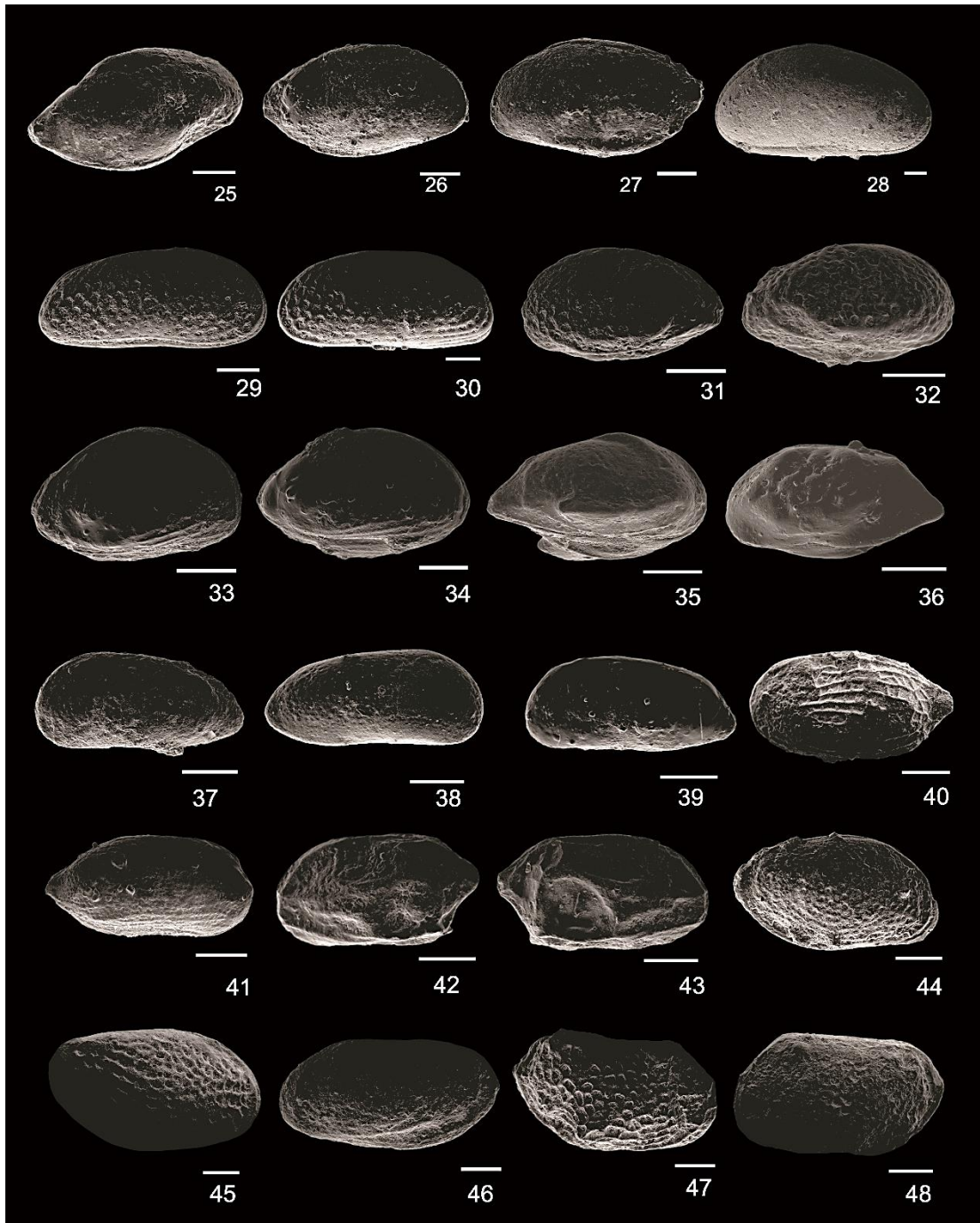


Plate 2- Barra de escala: 100  $\mu$ m. 25-27. *Pellucistoma magniventra*; 28. *Cushmanidea? bragantinaenses*; 29-30. *Hulingsina? lorensmithae*; 31-32. *Gangamocytheridea macedoi*; 33-34. *Cytheropteron? yorktownensis*; 35. *Cytheropteron* sp.; 36. *Cytherura? punctocentrata*; 37-39. *Cytherura? quasilenisa*; 40. *Cytherura* sp.; 41. *Semicytherura* sp.; 42-43. *Kangarina quellita*; 44-46. *Loxoconcha* sp. aff. *Loxoconcha cyrton*; 48. *Loxocorniculum* sp. aff. *Loxoconcha rugosa*.

## ANEXO D – PLATE 3

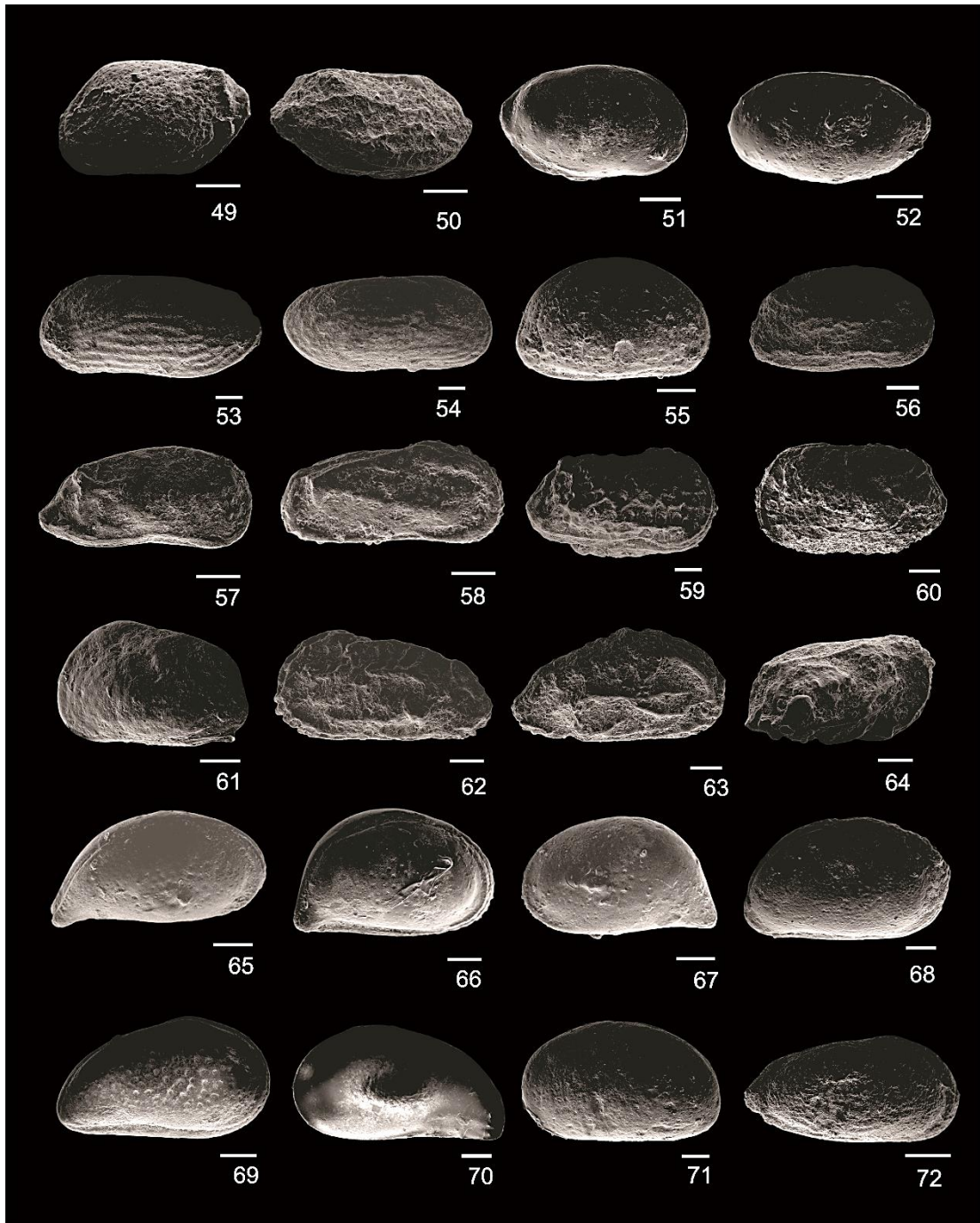


Plate 3- Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$ . 49. *Loxocorniculum* sp. aff. *Loxoconcha rugosa*. 50. *Loxocorniculum* sp. 51-52. *Phlyctocythere* sp.; 53-54. *Cytheretta petrii*; 55-56. *Aurila laevicula*; 57. *Caudites medialis*; 58. *Neocaudites macertus*; 59. *Bradleya?* sp.; 60. *Quadracythere brachypygaia*; 61. *Quadracythere* sp.; 62-63. *Costa spinaventralis*; 64. *Costa* sp. 65. *Haplocytheridea sandbergi*; 66-68. *Haplocytheridea pirabasensis*; 69-70. *Haplocytheridea variopunctata*; 71. *Haplocytheridea* sp.; 72. *Perissocytheridea* sp.