



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE GEOLOGIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Bruna Leal Passos de Souza

**MICROPALEONTOLOGIA DA LITOFACIES RECIFAL DA  
FORMAÇÃO PIRABAS (MIOCENO INFERIOR), PRAIA DO  
MAÇARICO, MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS, ESTADO DO PARÁ**

Belém-Pará  
2010

**BRUNA LEAL PASSOS DE SOUZA**

**MICROPALEONTOLOGIA DA LITOFACIES RECIFAL DA  
FORMAÇÃO PIRABAS (MIOCENO INFERIOR), PRAIA DO  
MAÇARICO, MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS, ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora.

**BELÉM-PARÁ**  
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

S729m Souza, Bruna Leal Passos de

Micropaleontologia da litofacies recifal da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), praia do Maçarico, município de Salinópolis, estado do Pará / Bruna Leal Passos de Souza; Orientador: Vladimir de Araújo Távora – 2011

67 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Formação Pirabas. 2. Biohermito. 3. Recife fóssil. I. Távora, Vladimir de Araújo Távora, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20° ed.: 560.4598115

---

**BRUNA LEAL PASSOS DE SOUZA**

**MICROPALEONTOLOGIA DA LITOFACIES RECIFAL DA FORMAÇÃO  
PIRABAS (MIOCENO INFERIOR), PRAIA DO MAÇARICO, MUNICÍPIO DE  
SALINÓPOLIS, ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Banca examinadora:

---

Prof. Vladimir de Araújo Távora – Orientador  
Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. José Fernando Pina Assis – Membro  
Mestre em Ciências  
Diretor da Faculdade de Geologia  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Afonso César Rodrigues Nogueira – Membro  
Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará

A minha mãe Elizabeth,  
pelo amor, amizade e dedicação incansável.

## AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meus sinceros agradecimentos às seguintes entidades e pessoas pelas relevantes contribuições à realização desta pesquisa:

- A Universidade Federal do Pará pela infraestrutura, condições materiais e logísticas, bem como a possibilidade de me fornecer a formação profissional básica do curso de Geologia;
- Aos amigos do Grupo do Laboratório de Paleontologia, pelos anos de convivência, ajuda e amizade;
- Ao meu orientador, Professor Dr. Vladimir de Araújo Távora, por sua orientação, paciência, dedicação e amizade;
- Ao professor Dr. Cláudio Nery Lamarão, chefe do Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geoquímica e Petrologia da Universidade Federal do Pará, pelas ilustrações dos exemplares apresentados;
- Aos professores da Faculdade de Geologia que foram responsáveis pela a minha formação;
- A toda a minha família, em especial aos meus pais Ronaldo Leal de Souza e Elizabeth Passos de Souza, pela oportunidade e incentivo aos estudos, e as minhas irmãs Aline Cristine Passos de Souza e Barbra Elizabeth Leal Passos de Souza, pela amizade e apoio;
- A turma de 2006, especialmente, aos meus amigos Antonia Railine da Costa Silva, Max de Jesus Pereira dos Santos e Ignácio de Loiola A. Nogueira Neto, pela companhia nos momentos de dificuldade e diversão no decorrer de todo o curso;
- A Deus, pois sem ele nada seria possível.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta os dados obtidos a partir da análise dos microfósseis da litofácies recifal da Formação Pirabas, aflorante na praia do Maçarico, município de Salinópolis, Pará. Este bioherma fóssil desenvolveu-se na rampa interna do subambiente plataformal do Mar de Pirabas, com forma lenticular e pequenas dimensões, e apresentando aspectos diagenéticos peculiares. Foram coletadas amostras dos três estágios de sua sucessão ecológica para triagem de foraminíferos, ostracodes e briozoários para que, a partir destas associações fossem inferidas as devidas interpretações paleoambientais. As informações obtidas indicam que o bioherma desenvolveu-se em ambiente de águas rasas e quentes, com alta energia, apresentando taxa de sedimentação baixa a moderada e com alta disponibilidade de nutrientes e carbonato de cálcio. Ainda assim, no geral, a diversidade específica é baixa e os espécimes são pouco abundantes, isso porque a intensa diagênese, evidenciada também na escala do afloramento, causou a dissolução de muitos espécimes.

Palavras-chave: Formação Pirabas. Biohermito. Recife fóssil.

## **ABSTRACT**

This work presents the resulting data from microfossils analysis of the Pirabas Formation reef lithofacies, exposed in The Maçarico beach, Salinópolis city, state of Pará. This fossil bioherma developed on the inner shelf of Pirabas sea, with lenticular shape, small dimensions and peculiar diagenetic aspects. Samples of the three ecological succession stages were collected for foraminifera, ostracodes and bryozoans sorting, so that palaeoenvironmental interpretations could be done. The obtained data indicates the bioherma developed in warm shallow waters, with high energy, sedimentation rate low to moderate and high availability of nutrients and calcium carbonate. The species diversity is low and the specimens are scarce due the intense diagenesis caused the dissolution of the many biotic elements.

Key-words: Pirabas Formation. Fossil reef. Cenozoic

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área estudada. ....	13
Figura 2 - Classificação dos <i>bindstones</i> segundo critérios texturais e de fábrica (modificado de Davis Jr., 1983). ....	23
Figura 3 - Subdivisão das zonas topográficas e ecológicas de um recife (modificado de Davis Jr., 1983). ....	24
Figura 4 - Seção esquemática de um recife, mostrando seus estilos de acumulação carbonática (modificado de Davis Jr., 1983).....	24
Figura 5 - (a) Vista geral dos blocos métricos que compõem o biohermito; (b) detalhe da área aflorante do biohermito e da litofácies adjacente, calcilutito. ....	33
Figura 6 - Litofácies calcilutito, onde o biohermito provavelmente está encaixado.....	35
Figura 7 - Perfil esquemático e bloco métrico do biohermito com os três estágios de sucessão ecológica.....	35
Figura 8 - Principais constituintes bióticos do biohermito. (a) crostas algálicas, corais escleractíneos anermatípicos (b) <i>Stylophora</i> , (c) e (d) <i>Flabellum</i> , (e) <i>Discotrochus</i> , corais escleractíneos hermatípicos (f) <i>Cladocora</i> , briozoários (g) <i>Steginoporella</i> e (h) <i>Lunulites</i> , (i) poríferos calcispôngios, moluscos bivalvíos (j) pectinídeos, (k) <i>Plicatula</i> , (l) <i>Crassostrea</i> , (m) <i>Venericardia</i> e espinhos de equinóides regulares. ....	38
Figura 9 - (a) e (b) litologia margosa basal, <i>bafflestone</i> , correspondente ao estágio de estabilização do bioherma. ....	40
Figura 10 - Fácies <i>bafflestone</i> constituída por areia calcária e estratificação cruzada de pequeno porte, correspondente ao estágio colonização (II) do bioherma. ....	42
Figura 11 - Fácies <i>framestone</i> , correspondente ao estágio de diversificação do biohermito, ....	43
Figura 12 - Horizonte delgado, contínuo e bem endurecido que representa dois recifes superpostos. ....	45
Figura 13 - Foraminíferos reconhecidos na litofácies recifal da Formação Pirabas: 1 - <i>Ammonia beccarii</i> var. <i>parkinsoniana</i> (d'Orbigny) (x240); 2 - <i>Amphistegina lessonii</i> (d'Orbigny) (x67); 3 - <i>Bolivina escalprata</i> Schwager var. <i>miocenica</i> (Maxfadyen) (x220); 4 - <i>Elphidium sagrum</i> (d'Orbigny) (x200); 5 - <i>Elphidium sp1.</i> (x280); 6 - <i>Elphidium sp2.</i> (x443); 7 - <i>Pyrgo subsphaerica</i> (d'Orbigny) (x195); 8 - <i>Quinqueloculina akneriana</i> (d'Orbigny) (x170); 9 - <i>Quinqueloculina lustra</i> (Cushman) (x260). ....	47
Figura 14 - Representantes da ostracofauna encontrada na litofácies recifal da Formação Pirabas: 1 - <i>Aurila amygdala</i> (Stephenson) (x114); 2 - <i>Cytherelloidea obliquecostata</i> (Bold) (X150); 3 - <i>Loxoconcha sp.</i> (Sars) (x278); 4 - <i>Loxocorniculum sp.</i> (x260); 5 - <i>Macropyxis sp.</i> (x169); 6 - <i>Munseyella minuta</i> (Bold) (x116); 7 - <i>Neocaudites sp.</i> (Edwards) (x130); 8 - <i>Neonesidea amygdaloides</i> (Brady) (x88); 9 - <i>Neonesidea bradyi</i> (Bold) (x94); 10 - <i>Paracypris sp.</i> (Howe & Law) (x142); 11 - <i>Paranesidea sp.</i> (x154); 12 - <i>Quadracythere sp.</i> (Hornibrook) (x122); 13 - <i>Tenedocythere turda</i> (Holden) (x158); 14 - <i>Xestoleberis dactylotypa</i> (Bold) (x210). ....	48
Figura 15 - Composição taxonômica dos microbriozoários na litofácies recifal da Formação Pirabas: 1 - <i>Crisia sp.</i> (x71); 2 - <i>Vincularia sp.</i> (x55); 3 - <i>Nellia oculata</i> (Busk) (x48); 4 - <i>Bugula sp.</i> (x52); 5 - <i>Metrahabdotos sp.</i> (x69); 6 - <i>Pasythea tulipifera</i> (Ellis & Solander) (x135); 7 - <i>Vittaticella elegans</i> (Busk) (x138). ....	50

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Distribuição das espécies de foraminíferos nos estágios de sucessão ecológica do biohermito. ....	52
Tabela 2 Distribuição das espécies de ostracodes nos estágios de sucessão ecológica do biohermito. ....	57
Tabela 3 Distribuição das espécies de microbriozoários nos estágios de sucessão ecológica do biohermito. ....	60

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.3	METODOLOGIA.....	15
1.3.1	<b>Atividades de campo.....</b>	<b>15</b>
1.3.2	<b>Atividades de laboratório.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FORMAÇÃO PIRABAS.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>RECIFES.....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>BIOHERMITO DA FORMAÇÃO PIRABAS.....</b>	<b>32</b>
4.1	SUCESSÃO ECOLÓGICA.....	36
4.1.1	<b>Estágio Estabilização.....</b>	<b>39</b>
4.1.2	<b>Estágio Colonização.....</b>	<b>41</b>
4.1.3	<b>Estágio Diversificação.....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>MICROPALEONTOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
5.1	ANÁLISE MICROFAUNÍSTICA.....	46
5.2	INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS.....	51
5.2.1	<b>Foraminíferos.....</b>	<b>51</b>
5.2.2	<b>Ostracodes.....</b>	<b>56</b>
5.2.3	<b>Briozoários.....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O reconhecimento de recifes fósseis é bastante complexo devido serem bem definidos apenas em exposições verticais, e porque a grande maioria foi obliterado por processos diagenéticos (dolomitização ou dissolução) e/ou destruídos parcial ou completamente por processos tectônicos, intempéricos ou ainda por encontrarem-se em subsuperfície. Além disso, os elementos bioconstrutores modificaram-se ao longo do tempo, impedindo que se possa através de uma única associação fossilífera, mapeá-los e definir os seus limites. Outro problema relacionado à caracterização de recifes fósseis é a sua escala, considerando, por exemplo, que um recife completo do Paleozóico ou Cretáceo pode atingir as mesmas dimensões de uma única colônia de recifes de corais dentro da edificação como um todo, quando vistos em testemunhos jurássicos ou atuais (DAVIS JR, 1983).

Os recifes cenozóicos são compostos predominantemente por corais escleractíneos, e seu registro geológico incompleto não permite esclarecer a sua gênese detalhada, e se houve algum tipo de modificação em relação às construções atuais. Esta lacuna deriva-se basicamente por duas situações, em áreas tectonicamente estáveis encontram-se em subsuperfície, ou porque em áreas tectonicamente ativas as relações litofaciológicas são obscurecidas por falhas. Além disso, por ocorrerem em zonas tropicais, os afloramentos estão fortemente intemperizados (DAVIS JR, 1983).

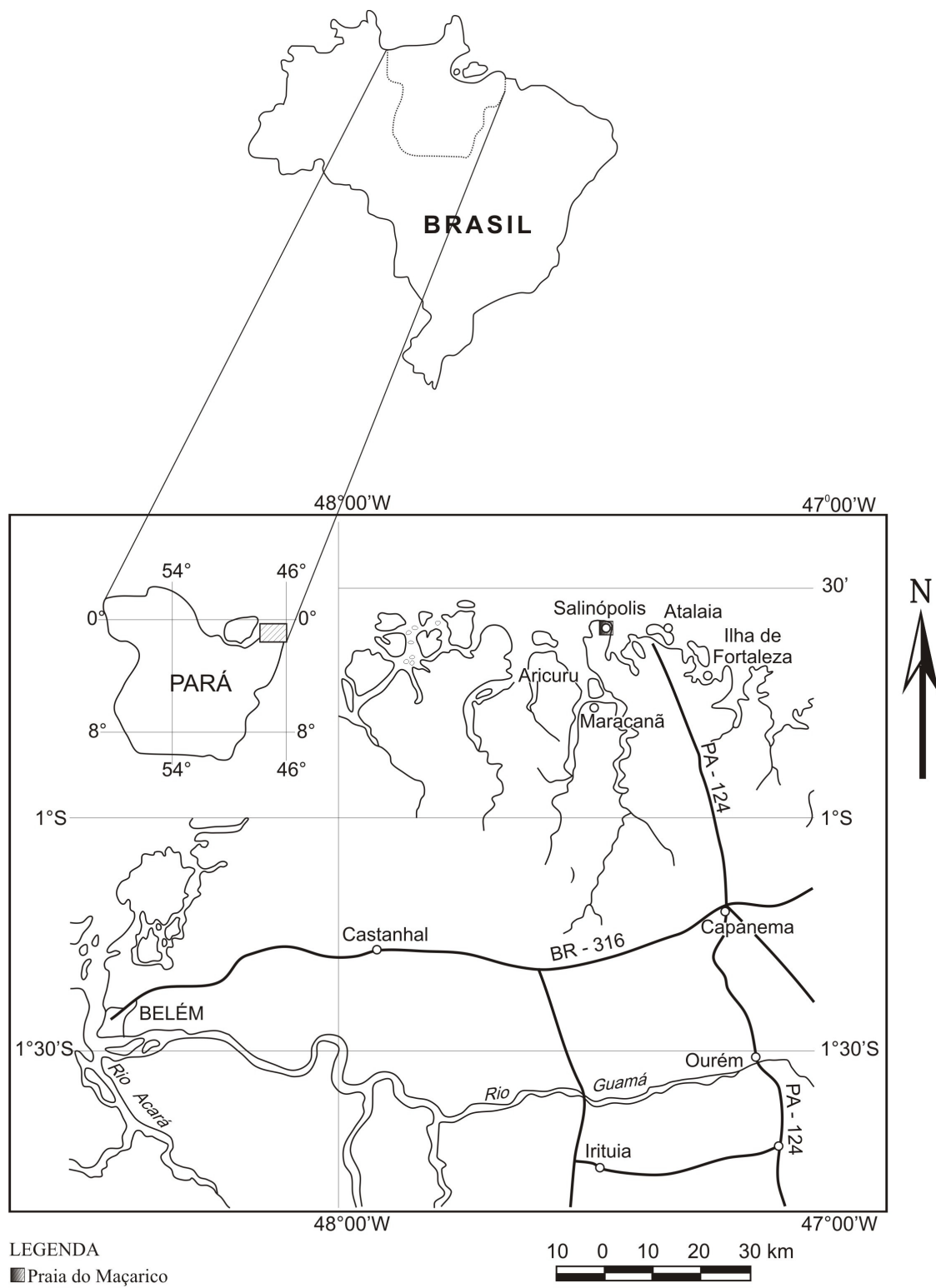
A sua distribuição espacial e temporal resulta diretamente das modificações do padrão de circulação oceânica global advinda, por sua vez, de movimentações tectônicas. No início do Eoceno ocorreu uma nova irradiação de corais hermatípicos, que parece ter sido facilitada pela diminuição do mar de Tethys e a conexão do Oceano Índico com o Mediterrâneo por um corredor raso. Foi durante o Oligoceno que os recifes alcançaram o seu máximo de desenvolvimento, quando se estabeleceram grande parte das comunidades recifais. Com a compreensão dos cinturões climáticos e o soergimento do istmo do Panamá, durante o Plioceno, os recifes ficaram confinados a duas regiões, Caribe e Indo-Pacífica, os mesmos sítios dos recifes atuais (DAVIS JR, 1983; RIDING, 2002).

No Oligoceno, ápice dos recifes cenozóicos, estabeleceram-se todos os tipos de bioconstruções recifais, onde em muitos casos foram reconhecidas zonações verticais e horizontais. Os primeiros estágios de crescimento são caracterizados por baixa diversidade coralínea, com esqueletos leves, porosos e de crescimento rápido, que poderiam ocupar inicialmente sedimentos argilosos (p.ex. *Goniopora*- ramificado e incrustante, e *Actinacis*- com ramos superpostos, similar ao atual *Acropora palmata*). O estágio de diversificação é caracterizado por uma grande diversidade específica, com predomínio dos maciços *Goniopora*, *Favia*, *Montastraea*, *Diploria*, *Pavona*, *Calpophyllia* e *Antiguastrea*, bem como dos ramificados *Acropora*, *Actinacis*, *Dictyaraea* e *Stylocoenia*, e dos nodulares *Alveopora* e *Astropora*. Outros elementos abundantes são briozoários, foraminíferos incrustantes e algas coralíneas. Destes últimos nota-se a escassez relativa de *Halimeda*, comum nos recifes modernos (DAVIS JR, 1983; TUCKER; WRIGHT, 1990).

O calcário aflorante na Praia do Maçarico foi interpretado por Ferreira (1980) e posteriormente confirmado por Ferreira & Francisco (1988), Góes *et al.* (1990) e Rossetti e Góes (2004), como um biohermito, a partir do padrão faciológico e conteúdo biótico, composto predominantemente por corais hermatípicos, algas coralíneas e equinóides, secundarizado por briozoários e bivalvíos incrustantes, todos típicos de recifes (Figura 1). Neste trabalho é caracterizada a Micropaleontologia dos três principais grupos de microfósseis da carapaça calcária - foraminíferos, ostracodes e microbriozoários desta litofácies que caracteriza um ambiente deposicional e um ecossistema específico, o único recife fóssil reconhecido no Brasil até o momento.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Estudos detalhados dos microfósseis da Formação Pirabas, enfocando principalmente seus aspectos paleoambientais, paleoecológicos e bioestratigráficos, concentraram-se ao longo do tempo, nas regiões da Capanema, Salinópolis e Maracanã.



**Figura 1 - Mapa de localização da área estudada.**

É necessário, entretanto, que este conhecimento seja efetivado nas outras áreas onde a Formação Pirabas ocorre, para que a integração destes dados favoreça o conhecimento da formação como um todo, principalmente nos aspectos de correlação das microfaunas aqui presentes com as que ocorrem nas unidades de litoestratigráficas sincrônicas do sul dos Estados Unidos, América Central e região caribeana.

Este estudo, portanto, visa neste momento, buscar esta integração, agora na litofacies recifal, o biohermito, que ocorre exclusivamente na Praia do Maçarico Município de Salinópolis, onde a Formação Pirabas ocorre expressivamente em superfície. Para isso o Laboratório de Paleontologia está contando, desde o ano de 2007, com um estudo geológico e da sucessão ecológica deste paleoecossistema específico. Agora então este trabalho vem preencher uma lacuna e atender a necessidade de caracterização micropaleontológica desta litofacies, e assim contribuir para seu maior detalhamento ecológico.

## 1.2 OBJETIVOS

O trabalho se propõe a realizar caracterização sistemática, biocronológica/bioestratigráfica, paleoecológica e de correlação com faunas sincrônicas do Mioceno da região caribeana e Estados Unidos dos microfósseis da Formação Pirabas na litofacies recifal (biohermito) aflorante na Praia do Maçarico, Salinópolis, Estado do Pará. Como objetivos específicos, este trabalho de conclusão de curso incluiu a caracterização sistemática dos microfósseis calcários (foraminíferos, ostracodes e microbriozoários) da Formação Pirabas na referida litofacies, caracterização biocronológica/bioestratigráfica e paleoambiental dos táxons identificados, efetivação de correlações dos elementos da microfauna identificada com outras da região nordeste do Estado do Pará, mais especificamente nos municípios de Capanema, Salinópolis e Maracanã, estendendo se possível as biozonas já reconhecidas, além de ilustração sob Microscópio Eletrônico de Varredura dos táxons mais representativos.

### 1.3 METODOLOGIA

Os resultados desta pesquisa foram obtidos por meio de técnicas clássicas de mapeamento geológico combinadas com as técnicas modernas aplicadas em Paleobiologia e Análise de Bacias. Os métodos aplicados envolveram tanto campo quanto laboratório, a seguir detalhados.

#### 1.3.1 Atividades de campo

As amostras estudadas nesta pesquisa foram coletadas entre 2008 e 2009, e estão armazenadas no Laboratório de Paleontologia da UFPa. Durante o ano de 2010, novos trabalhos de campo foram realizados visando detalhamento da caracterização geológica, tafonômica e ecológica do recife fóssil existente no Mar de Pirabas. A sistemática de coleta das informações de campo começou com a determinação litológica e mineralógica, e complementada com a retirada das feições sedimentológicas, estratigráficas e estruturais, nos blocos que compõem o afloramento correspondente ao biohermito. A segunda etapa foi a identificação dos componentes bióticos macroscópicos e suas interrelações, suas feições paleoecológicas e bioestratinômicas, e sua relação com a litologia. A última etapa tratou da coleta de 12 amostras para análise micropaleontológica mediante as técnicas usuais de separação e triagem de microfósseis da rocha matriz.

#### 1.3.2 Atividades de laboratório

O trabalho foi desenvolvido na íntegra no Laboratório de Paleontologia da Faculdade de Geologia, com as atividades agrupadas em fases: I- integração e interpretação dos dados levantados nas etapas de campo, levantamento bibliográficos

detalhado sobre recifes atuais e fósseis e suas microfaunas; II- métodos de tratamento de amostras para separação de microfósseis convencionais de desagregação mecânica, peneiramento via úmida, secagem, separação dos microfósseis sob lupa binocular Carl Zeiss Stemi SV-6 e armazenagem em células de Franke; III- classificação sistemática usando como base para os foraminíferos, Loeblich e Tappan<sup>1</sup>, Stainforth *et al.*<sup>2</sup>, Postuma<sup>3</sup> (1964; 1975; 1971 *apud* MARTINS, 1984); para os ostracodes, Benson *et al.*<sup>4</sup>, Benson e Coleman II<sup>5</sup>, Maddocks<sup>6</sup> (1961.; 1963; 1969 *apud* TÁVORA, 1994) e Távora (1992); e para os microbriozoários, Bassler<sup>7</sup> (1953 *apud*,Távora; Fernandes, 1994) além de variada bibliografia complementar específica; IV- seleção dos táxons mais representativos e ilustração mediante Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), seguindo os métodos usuais de preparação do material nos stubs; V- integração dos dados microfaunísticos e efetivação das interpretações geológicas.

---

<sup>1</sup> LOEBLICH, A. R., TAPPAN, H. *Treatise on invertebrate Paleontology: Pt. C. Protist 2\_Sarcodina*. The Geological Society of American, N. York, 900p. 1964.

<sup>2</sup> STAINFORTH, R. M. Estudios suramericanos de los foraminíferos Planctonicos del Terciario. *Revista Española de Micropaleontología*. Madrid, 7 (3): 363-71. 1975.

<sup>3</sup> POSTUMA, J. A. *Manual of Planktonic Foraminifera*. Amsterdam, Elsevier Publishing Co. 420p. 1971.

<sup>4</sup> BENSON, R. H., BERDAN, J. M., BOLD, W. A. van den, HANAI, T., HESSLAND, I., HOWE, H. V., KESLING, R. V., LEVINSON, S. A., REYMENT, R. A., MOORE, R. C., SCOTT, H. W., SHAVER, R.H., SOHN, I.G., STOVER, L.E., SWAIN, F.M., SYLVESTER-BRADLEY, P.C., WAINWRIGHT, J. Ostracoda. *In: MOORE, R.C. (ed.) Treatise on Invertebrate Paleontology, Arthropoda 3, Part Q*, University of Kansas Press and Geological Society of America, N. York, 442p. 1961.

<sup>5</sup> BENSON, R. H., e COLEMAN II, G. L. Recent Marine Ostracods from the Eastern Gulf of Mexico. *The University of Kansas, Paleontological Contributions, Arthropoda, Kansas, Art. 2: 1-52*. 1963.

<sup>6</sup> MADDOCKS, R. F. *Revision of recent Bairdiidae (Ostracoda)*. United States National Museum, Smithsonian Institution, Washington, Bulletin 295:1-126.

<sup>7</sup> BASSLER, R. S. Bryozoa. *In: MOORE, R. C. (ed.), Treatise of invertebrate paleontology, Part G*, University of Kansas Press and geological Society of America, N. York, 253p. 1953.

## 2 A FORMAÇÃO PIRABAS

A Formação Pirabas (MAURY, 1925) ocorre descontinuamente nos estados do Pará, Maranhão e Piauí, tendo sido inicialmente referida por Ferreira Penna (1876), que registrou os calcários fossilíferos da ilha de Fortaleza, litoral paraense.

No Pará ocorre em superfície e subsuperfície na região nordeste do Estado, nas zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina. Suas principais ocorrências situam-se na ilha de Fortaleza e nas jazidas da CIBRASA (Cimentos do Brasil S/A), nos municípios de São João de Pirabas e Capanema, respectivamente (COSTA *et al.*, 1993). A distribuição irregular dos registros da Formação Pirabas parece estar relacionada com a paleogeografia, evolução tectônica e como resultado de processos erosivos que assolaram a região provavelmente no Quaternário antigo (ALMARAZ; FORMOSO, 1971). Segundo Almaraz (1977), ocupa uma área de 12.000 km<sup>2</sup>, e têm como limites aproximados, desde o rio Guamá ao sul, até localidades correspondentes ao curso inferior do rio Gurupi (leste) e baía do Marajó (oeste). Ferreira e Francisco (1988) admitiram que esta área poderá ser ampliada, caso seja considerado o seu prolongamento ao longo da costa do Amapá, e mergulhando cerca de 200 km para dentro da plataforma do Pará e além do rio Guamá no km 48 da rodovia BR-010, município de Irituia. Litologicamente é constituída por calcários cinza de composição variável (coquinas, biohermitos, micritos, dolomicritos, margas e bioclasitos) intercalados com calcarenitos e folhelhos negros, depositados em ambiente marinho de águas rasas e quentes (FERREIRA, 1982).

Desde sua formalização como unidade estratigráfica por Maury (1925), os depósitos da Formação Pirabas têm sido considerados como miocênicos. Entretanto, (Ferreira, *op. cit.*) estendeu sua deposição ao intervalo Neo-Oligoceno - Eomioceno, baseado na correlação com pacotes sedimentares da Bacia da Foz do Rio Amazonas (Membro Araguari da Formação Marajó e seqüências Tambaqui e Tamoatá da Formação Amapá), assim como pela presença do gastrópode *Orthaulax pugnax* e foraminífero planctônico *Globorotalia opima* na sondagem em Vila Mãe do Rio, município de Irituia (FERREIRA *et al.*, 1981), fósseis cuja distribuição estratigráfica estende-se do Neo-Oligoceno ao Eomioceno. Com base em foraminíferos planctônicos (espécies dos gêneros *Globorotalia* e principalmente *Globigerinoides*), admitiu-se que a

seqüência marinha mais antiga em território paraense data da base do Eomioceno (FERNANDES, 1988; FERNANDES; TÁVORA, 1990; TÁVORA; FERNANDES, 1999).

Sob o ponto de vista estratigráfico, é pouco conhecido tanto o seu limite inferior quanto a sua espessura. Supõe-se, todavia, que sua maior parte sobreponha-se diretamente sobre o embasamento cristalino (ALMARAZ, 1977). Os depósitos terciários (Mioceno - Pleistoceno) do Grupo Barreiras repousam discordantemente sobre a Formação Pirabas (FRANCISCO *et al.*, 1971) e, segundo Ferreira e Francisco (1988), não ocorre interdigitação entre estas unidades, como mencionado por outros autores. Góes *et al.* (1990) reportaram que o contato entre a Formação Pirabas e o Grupo Barreiras é interdigitado e gradual, baseados em estruturas sedimentares e palinomorfos.

O contato lateral da Formação Pirabas se dá de maneira gradual para depósitos carbonáticos da Formação Amapá e para os clásticos da Formação Marajó, em direção à plataforma continental e ilha do Marajó, respectivamente (SCHALLER *et al.*, 1971).

Devido ao abundante e variado conteúdoossilífero, a Formação Pirabas está bem caracterizada sob o ponto de vista paleoambiental. Uma das primeiras referências ao ambiente deposicional desta formação foi realizada por Ferreira e Cunha (1957), como marinho de águas límpidas, rasas, nerítico, próximo ao litoral de mar aberto, onde o clima deveria ter sido quente e a costa baixa.

O registro das formas fósseis típicas de determinados subambientes marinhos, possibilitou maior detalhamento deste ambiente deposicional. Assim, diversos autores dividiram a Formação Pirabas em ecofácies. Além de proporem a divisão faciológica, estes autores também teceram considerações sobre a extensão e litologia das mesmas. Petri (1957) dividiu a Formação Pirabas nas fácies ecológicas Castelo, Canecos e Baunilha Grande, delimitando os afloramentos do litoral, Zona Bragantina e furo Baunilha Grande, respectivamente. Ackermann (1964, 1969 e 1976) dividiu, da base para o topo, em Olaria, Capanema e Fortaleza, enquanto Almaraz (1977) considerou a fácies Baunilha Grande sotoposta às fácies Capanema e Castelo. Ferreira (1966, 1980 e 1982), Ferreira e Cassab (1985) e Ferreira e Francisco (1988) reconheceram as fácies Castelo, Baunilha Grande e Capanema, admitindo que esta última localiza-se

especialmente acima da fácies Castelo, enquanto a fácies Baunilha Grande é descontínua, estando em posição intermediária entre as outras duas.

A ecofácies Castelo representa um ambiente marinho de águas neríticas, quentes e rasas, com salinidade normal ou acima (PETRI, *op. cit.*; FERREIRA, *op. cit.*; FERREIRA; CASSAB, *op. cit.*; FERREIRA; FRANCISCO, *op. cit.*), sendo constituída litologicamente por coquinas, biohermitos, micritos e dolomicritos, mergulhando para a plataforma continental do Pará, e se afunilando em direção ao sul do estado (Ferreira, *op. cit.*). Para essa fácies foi definida a biozona *Orthaulax pugnax*, que compreende uma paleofauna típica de ambientes recifais (estenobiônica), tais como corais hermatípicos, algas coralíneas, briozoários e alguns moluscos, como o gastrópode *Orthaulax pugnax*, que deu nome à biozona. A fácies Fortaleza especifica calcários altamente fossilíferos e com elevado teor de MgO, aflorantes na ilha de Fortaleza (ACKERMANN, *op. cit.*), correspondendo também à ecofácies Castelo.

A ecofácies Capanema, mencionada como Canecos por Petri, *op. cit.*, foi depositada num ambiente lagunar, de borda de bacia, com salinidade abaixo da normal (ACKERMANN, *op. cit.*; ALMARAZ, 1977; FERREIRA, *op. cit.*; FERREIRA; CASSAB, *op. cit.*; FERREIRA; FRANCISCO, *op. cit.*). Litologicamente caracteriza-se por margas, micritos, bioclastos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. A fácies Olaria, corresponde à atual ecofácies Capanema, refere-se a um calcário muito fino, com baixo teor de MgO, observado na localidade Olaria (município de Capanema), que possui abundantes impressões de folhas (ACKERMANN, *op. cit.*; DUARTE, 1967, 2004).

A ecofácies Baunilha Grande (PETRI, 1957; FERREIRA, 1980, 1982; FERREIRA e CASSAB, 1985; FERREIRA; FRANCISCO, 1988) representa um ambiente redutor tipicamente de mangue, sendo constituída por calcários cinza escuros finamente estratificados e argilas negras com nódulos de calcário escuro contendo crustáceos braquiúres (carcinólitos) e vegetais piritizados.

Góes *et al.* (1990), com base em análise litofaciológica, identificaram sete fácies descritas: biocalcirruditos (com grande variedade faunística), calcarenitos não estratificados (ou com estratificação cruzada incipiente e fósseis esparsos), calcarenito estratificado (fósseis fragmentados), margas (restos vegetais e peixes), folhelhos verdes (restos vegetais), biohermitos (corais) e calcilutitos (raros fósseis).

O modelo deposicional proposto por Góes *et al.* (1990), considerando o conteúdo e análise paleontológica, é similar aos propostos anteriormente, citando evidências de ondas de tempestade na plataforma continental, onde os subambientes de plataforma carbonática marinha rasa (ecofácies Castelo), laguna (ecofácies Capanema) e mangue (ecofácies Baunilha Grande) acham-se dispostos de forma interdigitada com sedimentação cíclica, sugerindo freqüentes oscilações do nível do mar, e litoral intensamente recortado. Subseqüente a este evento deposicional, predominantemente transgressivo e oscilatório, predominou a sedimentação de outra seqüência, regressiva e siliciclástica (Grupo Barreiras), cujas estruturas sedimentares e conteúdo palinológico típico do Mesomioceno indicam certa contemporaneidade e gradação entre a seqüência Pirabas e Barreiras.

Segundo Costa *et al.* (1993) os depósitos do Terciário Superior na região de Salinópolis, nordeste do Pará, são produtos de um ciclo transgressivo-regressivo, estando depositados em uma bacia assimétrica e alongada de direção NW-SE. O preenchimento desta bacia se processou pela instalação de depósitos marinhos carbonáticos de águas rasas e quentes (Formação Pirabas), os quais dão lugar gradativamente a depósitos regressivos de natureza siliciclástica (Grupo Barreiras), indicando forte soerguimento da borda da bacia e inibição de depósitos de carbonatos em subambientes de planície de maré, estuário e plataforma interna. As estruturas que controlam o desenvolvimento da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras são falhas normais NW-SE e inclinadas para NE, e falhas transcorrentes NE-SW que funcionaram como zonas de transferência. Essa evolução é entendida como decorrente do último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, relacionado ao evento de separação América do Sul - África.

### 3 RECIFES

Recife é um depósito sedimentar específico, correspondendo a um termo que denota qualquer acumulação carbonática influenciada por meio biológico, e que tem alcance acima do nível do mar, resistente a ação das ondas, às vezes confundido com biohermas e bióstromos, os correspondentes dos atuais recifes. Composto predominantemente por uma fina camada sobre espessas construções calcárias, os organismos secretam grande quantidade de carbonato de cálcio, que utilizam como superfície de fixação os restos de outros que ali viveram ao longo do tempo, o recife não é exatamente um produto de sedimentação física, sendo muito mais a expressão física de uma comunidade orgânica que se desenvolveu em um determinado lugar durante certo intervalo de tempo (JAMES, 1984; RIDING, 2002; TUCKER; WRIGHT, 1990; VILLAÇA, 2009).

A expressão bioherma tem sido utilizada para definir corpos lentiformes de origem orgânica, de composição interna peculiar, que podem estar encaixados em rochas de diferentes composições. Representa uma acumulação *in situ* de organismos bentônicos ou acumulações em pilhas de detritos esqueléticos, em um ambiente com nível de energia baixo a moderado que propicia rápido crescimento de uma comunidade. Já um bióstromo constitui uma simples estrutura acamadada que não atinge o desenho lenticular, sendo uma acumulação de detritos biogênicos (p.ex. camadas conchíferas, níveis ricos em corais), não necessariamente *in situ*, desenvolvida em um fundo instável, onde o soterramento catastrófico de uma comunidade oportunística que se estabilizou e colonizou o biótopo em sucessivos episódios, como tempestades, sendo equivalente ao termo acumulações esqueléticas- *skeletal mounds*. São estruturas complexas que geram um espectro de estruturas com significado geológico. Uma distinção fundamental entre eles é que uns possuem uma estrutura calcária (bioconstruções) e outros cuja estrutura caracteriza-se por simples acumulações (fluxos) sem construir a estrutura rígida. A ausência desta construção rígida é causada por fatores tais como salinidade, temperatura, profundidades e disponibilidade de nutrientes, que inibem a fixação e concentração dos organismos bioconstrutores (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983; TUCKER; WRIGHT, 1990).

Os carbonatos recifais possuem uma gênese peculiar, constituindo materiais bioconstruídos *in situ*, e por esta razão a eles não podem ser aplicadas as propostas clássicas de classificação das rochas carbonáticas. Nesse contexto estes carbonatos são genericamente chamados de biolititos ou boundstones. Por meio de feições texturais e de fábrica (Figura 2), podem ser classificados como *bafflestone*, que inclui organismos dispersos, com crescimento verticalizado que aprisionam sedimentos entre eles de maneira desordenada, tais como corais ramificados; *bindstone*, designa agrupamentos de organismos tabulares ou incrustantes que aprisionam sedimentos, tais como as algas coralíneas, e formam uma incrustação plana; e *framestone*, inclui os organismos com estrutura maciça, tais como alguns corais, que formam uma “armadura” resistente (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983; TUCKER; WRIGHT, 1990; VILLAÇA, 2009).

Os recifes podem ser caracterizados estruturalmente pela natureza dos organismos que os constroem ou com base na sua morfologia desenhados por fatores ambientais, sendo composto por inúmeros e contrastantes pequenos ambientes que variam desde lagunas com baixa energia até zona de arrebentação de ondas. O crescimento dos recifes pode produzir grandes complexos resistentes a ação das ondas, com relevos suficientes para definir subambientes com diferentes gradientes de batimetria e ação de movimentação. Assim, os recifes são classificados em complexos (grandes e que se desenvolvem nas bordas plataformais) e pequenos- *patch reefs* (pequenos e isolados, que se desenvolvem em plataformas interiores ou rampas internas), que se caracterizam por fábricas, tipos e morfologia dos organismos e aspectos eodiagenéticos particulares. Além destes tem-se os atóis, que são recifes às vezes circulares com uma laguna em seu centro. resistente (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983; RIDING, 2002; TUCKER; WRIGHT, 1990).

Em um recife complexo são diferenciadas as seguintes regiões (Figura 3): (a) frente e crista recifal- principais zonas produtivas de um recife ativo se estendem do ponto mais alto do recife (crista) ao ponto onde cessa a construção. Na crista recifal os organismos são incrustantes, devido essa área ser continuamente afetada pelas ondas, e conseqüentemente é aqui onde se reconhece o maior grau de abrasão, fragmentação, bioerosão e cimentação. Os sedimentos gerados nesta zona possuem fábrica do tipo *bafflestone*, com *bindstones* localmente; (b) planície recifal- estreita zona imediatamente abaixo da crista, comumente exposta durante a maré baixa, com fábrica do tipo *bindstones*, *rudstones* ou mais raramente *framestones*, e baixa diversidade

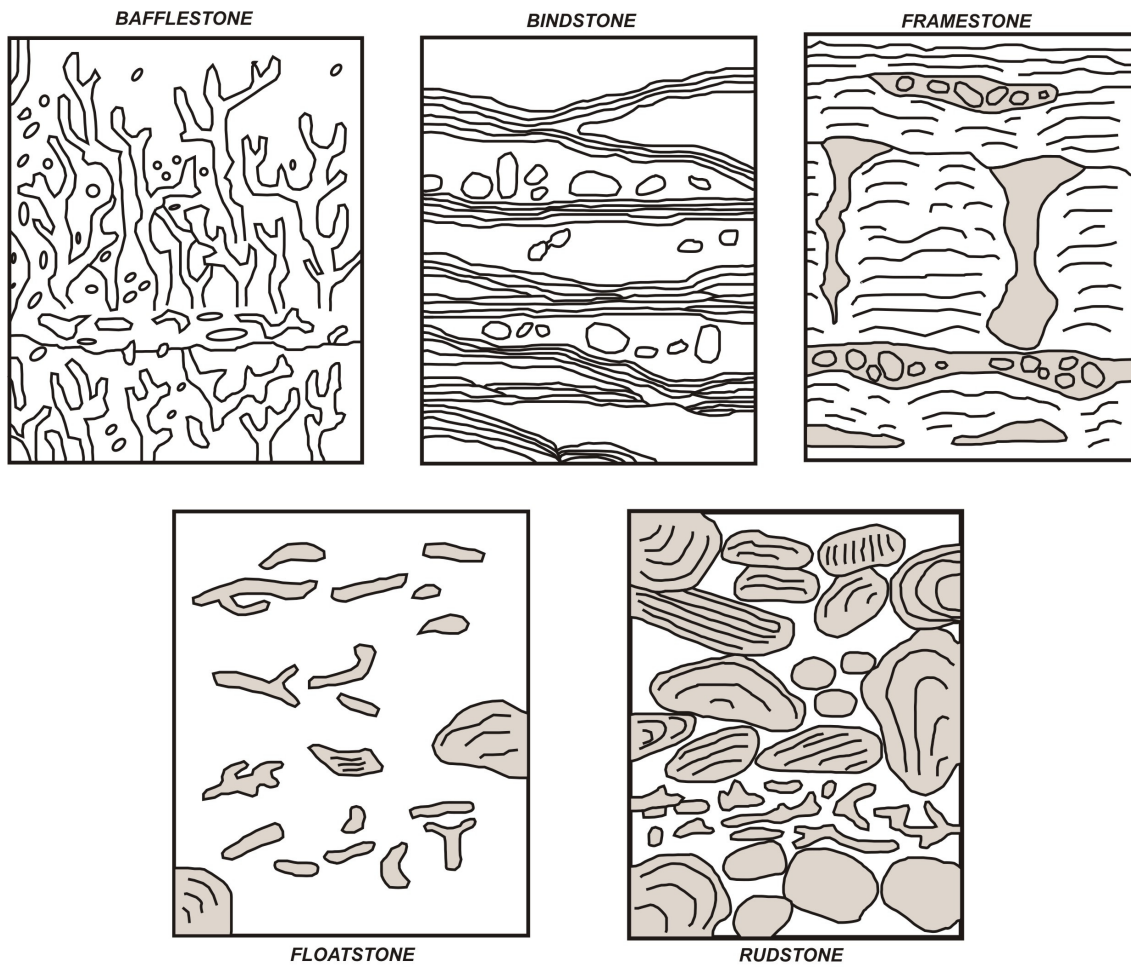
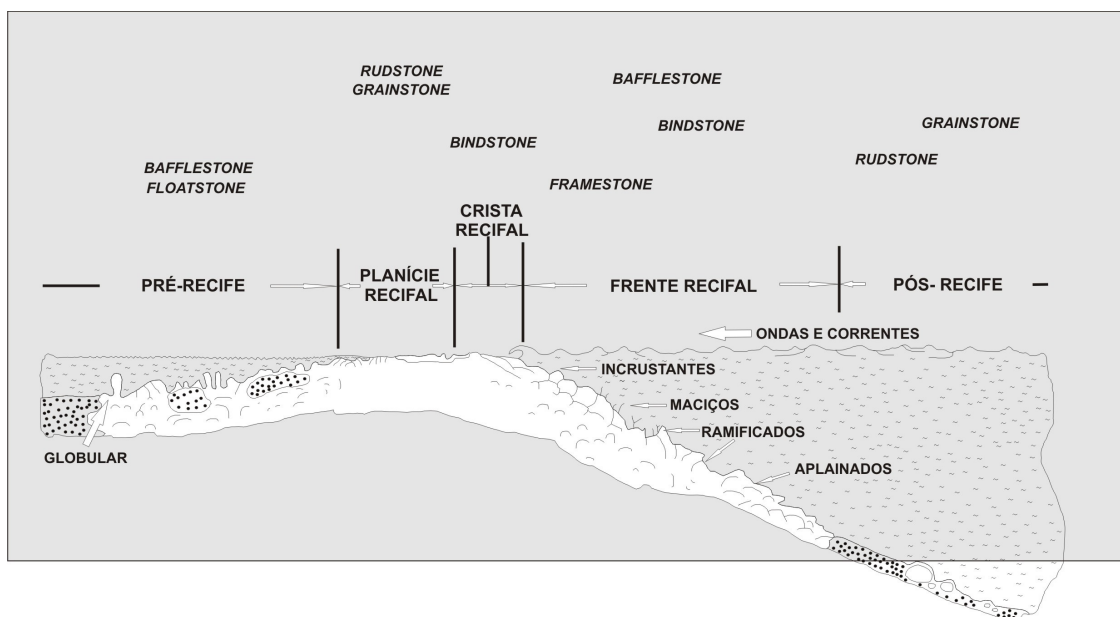
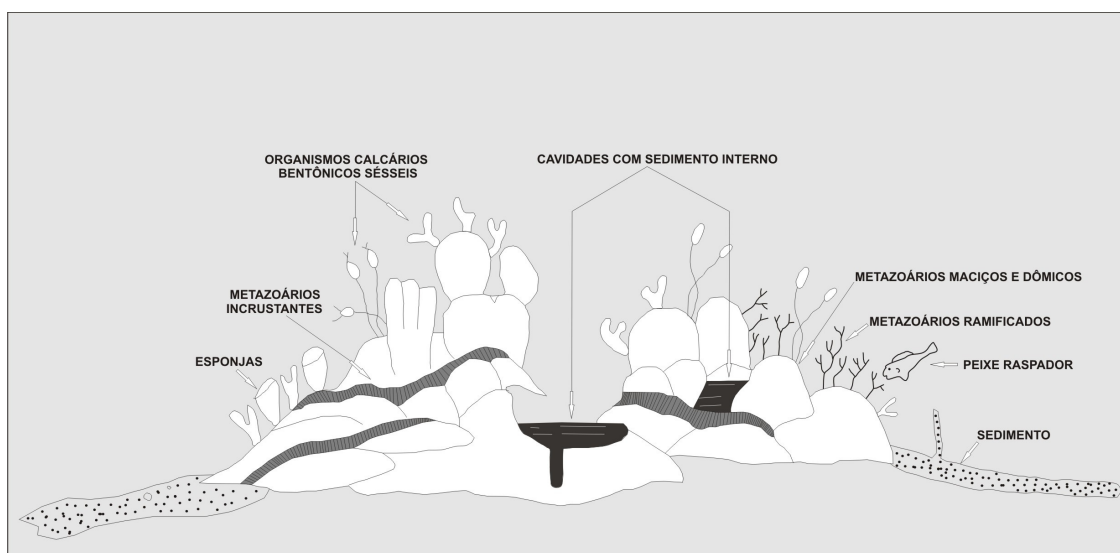


Figura 2 - Classificação dos bindstones segundo critérios texturais e de fábrica. Fonte: modificado de Davis Jr. (1983).



**Figura 3 - Subdivisão das zonas topográficas e ecológicas de um recife. Fonte: modificado de Davis Jr., (1983).**



**Figura 4 - Seção esquemática de um recife, mostrando seus estilos de acumulação carbonática. Fonte: modificado de Davis Jr., (1983).**

específica, dominada por algas calcárias; (c) pós recife- estende-se da frente do recife até o seu assoalho basal, sendo alimentada por sedimentos derivados do recife por meio de colapso, fluxos gravitacionais e correntes, dentre outros fatores; e (d) lagunas pré recife- podem incluir fábricas dos tipos *packstones* bioclásticos, *wackestones* e *grainstones* subordinados, intensamente bioturbados e micritizados (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983, 1984; RIDING, 2002; TUCKER; WRIGHT, 1990).

Os recifes em mancha (*patch reefs*) apresentam variações regionais no estilo de desenvolvimento, que reflete diferenças na profundidade da água e energia do meio, sendo que o principal fator que controla a sua distribuição é a disponibilidade de substratos. Inicialmente os corais crescem dispersos, gerando uma estrutura isolada, rica em cavidades, mas eventualmente os corais crescem e coalescem para formar uma estrutura firme em águas mais rasas e agitadas. A sua forma varia entre circular e elíptico a irregular em planta. A sua espessura estratigráfica é dependente da taxa de subsidência, que se baixa, os recifes são finos, e se alta, os recifes alcançam grandes espessuras. Por vezes quando os grandes metazoários estão ausentes, as formas pequenas e delicadas não podem viver nas águas rasas turbulentas. Como resultado, a margem da plataforma consiste em um complexo de acumulações oolíticas ou esqueletais resistentes (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983; TUCKER; WRIGHT, 1990).

No recife existem dois estilos de acumulação carbonática, a estrutura rígida e o fluxo biogênico inconsolidado associado (Figura 4). O núcleo do recife inclui a porção estrutural do recife e sedimentos relacionados. Adjacente a ele tem-se os flancos recifais, que compreendem uma fácies distinta, composta apenas por detritos recifais, que tipificam mergulho deposicional mais profundo. Além dos flancos do recife pode haver ampla variedade de sedimentos, os quais são compostos por fluxos recifais finos e outros sedimentos carbonáticos ou terrígenos. Um dos aspectos mais característicos dos sedimentos recifais é sua origem quase exclusivamente biogênica. Os construtores contribuem para os sedimentos recifais inconsolidados, muito embora elementos orgânicos vivos próximos do recife também contribuam. O volume dos sedimentos é produzido por cinco grandes grupos, corais, algas coralíneas, algas verdes (p.ex. *Halimeda*), foraminíferos e moluscos. Existem variações locais, e alguns recifes podem também conter partículas não biogênicas, como oóides e intraclastos. Outro elemento

comum, e o único constituinte biogênico não esquelético são as pelotas fecais (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983; RIDING, 2002).

Sedimentos de recifes são quase em sua totalidade areia e cascalho, pobre a moderadamente selecionados. Existe uma considerável variação entre os nichos do sistema recifal. A textura dos sedimentos recifais é resultado de três principais fatores: sua origem biogênica, a atividade das ondas, e a fragmentação pelos organismos. Os cascalhos são mais comuns nas rampas, enquanto o silte é mais comum nas áreas profundas e protegidas das lagunas e nas cavidades menores da estrutura. A areia é de longe a granulometria mais abundante, sendo encontrada em todo o recife (JAMES, 1983; LAND; MOORE, 1980; RIDING, 2002).

A estabilidade e o crescimento (textura e volume) de um recife se dão a partir do equilíbrio entre a taxa de crescimento vertical dos esqueletos dos macrometazoários, a contínua fragmentação biogênica destes mesmos organismos por hospedeiros raspadores (peixes e equinóides), perfuradores (algas, bactérias, anelídeos, poríferos e bivalvíos) e comedores, e a produção de sedimentos prolíficos por crescimento rápido de formas sésseis do substrato calcário. Os metazoários esqueléticos grandes geralmente permanecem em seu lugar de vida após a morte, exceto quando fragmentados, bioerodidos ou deslocados por tempestades. A forma e o crescimento irregular dos construtores de recifes resultam na formação de cavidades, que podem ser habitadas por animais bentônicos sésseis de pequeno porte, ou preenchidos parcial ou totalmente por sedimentos de granulação fina (JAMES, 1983; RIDING, 2002).

As características dos recifes são definidas pela interação dinâmica de quatro processos interrelacionados, que dependendo dos seus gradientes, podem desenvolver diferentes estruturas recifais, tanto externas quanto internas. São eles: **construtivos** - representam a taxa e o estilo da produção carbonática pelos diferentes organismos recifais. Os construtores primários são formas com esqueletos fortemente calcificados (p.ex. corais coloniais, estromatoporóides e algas calcárias) que abrem espaço para a ocupação posterior por bioconstrutores incrustantes e soldadores, que geram também consideráveis volumes de clastos, e assim o recife se desenvolve, já que o fator principal para isso é uma intensa, rápida e efetiva precipitação carbonática; **destrutivos** - inclui a destruição física (ondas, tempestades e marés) e biológica (bioerosão). As tempestades influenciam significativamente a sedimentação e ecologia do recife, porque

em curtos períodos de tempo podem remover grandes quantidades de material recifal e interromper o crescimento orgânico. Reconhecer estes eventos nas sucessões recifais é difícil porque seus efeitos podem ser mascarados ou cicatrizados por bioturbações ou mesmo de crescimento orgânico subsequente. Já os elementos que causam bioerosão são predominantemente bivalvíos, gastrópodes, poliquetas, cianobactérias, esponjas, fungos, cirrípedes e equinóides. A bioerosão enfraquece a estrutura do recife, tornando-o suscetível à destruição física; **sedimentação** - um mínimo de partículas sedimentares é necessário para o preenchimento das cavidades que se desenvolvem nos recifes, e assim dar-lhe maior estabilidade. A principal fonte deste material inclui os produtos da destruição física e biológica dos organismos vivos no recife e a ele associados. Estes sedimentos são transportados por ondas e marés, e assim vão ocupar tais cavidades. É também importante ressaltar que se esta sedimentação for excessiva, o recife pode ser completamente recoberto; **cimentação** - processo ativado pela circulação da água, produzindo os chamados cimentos recifais, comumente associados com atividade microbiana e estruturas estromatolíticas (DAVIS JR, 1983; RIDING, 2002; TUCKER; WRIGHT, 1990).

A combinação destes quatro processos, com múltiplas fases de desenvolvimento, resulta em fábricas recifais complexas, gerando mosaicos sedimentos-organismos bem distintos em todas as escalas. O nível de energia do meio influencia o tipo de estrutura recifal, a cimentação, bioerosão, associação sedimentar e a preservação da fábrica do recife (TUCKER; WRIGHT, 1990).

O desenvolvimento de um recife requer um ambiente eutrófico e com baixo stress físico e biológico, que favorece o crescimento de uma comunidade muito diversa, pois os complexos controles biológicos possibilitam a divisão da biomassa entre as várias espécies, mantendo estável a capacidade de suporte do meio. O rápido crescimento de um recife está diretamente relacionado aos elementos simbiotes, que ao executarem algumas funções vitais de seus hospedeiros, acelera a calcificação dos esqueletos e conseqüentemente disponibiliza ao sistema altas concentrações de carbonato de cálcio. Os fatores que stressam as comunidades recifais são condições de alto nível de energia, alta taxa de sedimentação e baixa penetração de luz, bem como flutuações de salinidade e temperatura. Muitos recifes exibem zonações bióticas e sedimentológicas, controladas por mudanças no nível de energia do meio, intensidade

da luz, grau de exposição e taxa de sedimentação. Em ambientes modernos de alta energia ocorrem corais robustos, hemisféricos ou dendróides espessos. Já em meios de baixa energia os corais são ramificados, eretos e delicados (JAMES, 1983, 1984; RIDING, 2002; TUCKER; WRIGHT, 1990).

Uma das mais importantes características de um recife é a alta diversidade específica de sua associação orgânica. Para definir a real dimensão deste parâmetro biótico é necessário se considerar os constituintes principais e secundários, analisando os componentes bioclásticos e levar em consideração o potencial preservacional de todos os elementos. Entre os constituintes que são normalmente secundários estão os microbriozoários, microbiválvios, microgastrópodes, equinodermas, trilobitas, foraminíferos e ostracodes, bem com escamas e dentes de peixes (PUFAHL; JAMES, 2006; RIDING, 2002).

Para o estudo dos recifes antigos é essencial a integração entre os dados litológicos e paleontológicos. Entretanto, as comparações entre os bioconstrutores fósseis e modernos nem sempre podem ser realizadas, dificultando a interpretação sobre o conteúdo fóssilífero no contexto do sistema deposicional recifal. Muitos recifes antigos exibem uma sucessão vertical de lito e biofácies, começando com uma acumulação bioclástica basal, seguida por colonização de construtores estruturais que se tornam crescentemente diversos para o topo, e culminam em uma unidade de organismos incrustantes com baixa diversidade específica. Assim é possível afirmar que existe nos recifes uma contínua sucessão ecológica, onde cada fase ou estágio possui litologia e assembléia orgânica própria, bem como distintas formas de desenvolvimento. Assim os estágios de acreção recifal são: I. **Estabilização** - caracterizado por acumulações de areias calcárias esqueléticas compostas por fragmentos de carapaças de invertebrados maciços (corais, poríferos, briozoários e algas vermelhas ramificadas) e, tapetes de algas verdes, que servem como substrato para organismos sésseis; II. **Colonização** - nível pouco espesso do recife, que reflete a colonização inicial por metazoários ramificados e incrustantes, construtores principais dos recifes (algas, briozoários, poríferos e corais). A diversidade específica e a representatividade numérica são baixas, sendo que as formas ramificadas abrem nichos menores que podem ser ocupados por outras formas sésseis e incrustantes. Aqui se tem a formação do primeiro estágio do ecossistema recifal; III. **Diversificação** - compreende a maior

parte da massa recifal, onde a construção começa a crescer vertical e lateralmente em direção a superfície da água. O número de táxons dobra em relação ao estágio anterior, e observam-se maior variedade em tipos de crescimento. Com isso a estrutura recifal aumenta sua área, sendo produzidas cavidades e superfícies que propiciam fluxos de organismos produtores de mais carbonato de cálcio, fazendo o recife se desenvolver mais rapidamente; e IV. **Domínio (ou clímax)** - a mudança para este estágio é abrupta, sendo pois uma unidade definida por um calcário com baixa diversidade específica com organismos incrustantes a laminados. Percebe-se a alta energia do meio e o efeito das ondas na sua parte mais superior, quando se forma uma camada de rudstone (DAVIS JR, 1983; JAMES, 1983; RIDING, 2002; TUCKER; WRIGHT, 1990).

A sucessão ecológica que estes estágios representam ainda tem significado controverso entre os pesquisadores. Alguns admitem que este controle é extrínseco, representando substituição de comunidades de águas mais profundas para comunidades de águas mais rasas, embora algumas evidências sugiram condições de águas rasas e turbulentas para todas as associações encontradas. Outros estudiosos dizem que este controle é intrínseco, pois reflete os estágios de sucessão natural de uma comunidade, onde ocorre alteração gradual do substrato e da turbulência (TUCKER; WRIGHT, 1990).

Os estágios I, II e III parecem refletir uma sucessão autogênica, já que cada estágio prepara o meio para o próximo, pois cada comunidade altera o ambiente para que outra adaptada às novas condições ocupe com êxito o ecoespaço. Já no estágio IV a sucessão seria alogênica, porque o desenvolvimento do recife gera condições de energia progressivamente mais alta e batimetria cada vez mais rasa. Porém, muitos recifes antigos mostram evidências que todos os estágios desenvolvem-se em águas rasas. Esta controvérsia advém da impossibilidade de reconhecer que apenas os controles intrínsecos atuaram na gênese dos estágios um, dois e três (TUCKER; WRIGHT, 1990).

Os recifes podem ainda ser classificados em **estratigráficos** - massas espessas de rochas carbonáticas puras ou quase puras, incluem estágios ecológicos e, podem compreender uma sucessão de biohermas e/ou bióstromos construídos em tempos distintos; ou **ecológicos** - estrutura rígida, topograficamente resistente à ação de ondas, compostos por organismos e sedimentos carbonáticos gerados e aprisionados. No entanto, considerando que um recife é um corpo lenticular composto por detritos de

organismos misturados com sedimentos, e que em muitos casos não é possível definir claramente se estes detritos foram acumulados em um mesmo tempo, é mais coerente adotar a denominação recife estratigráfico, mais generalista e adequada ao registro geológico (DUNHAM, 1970; JAMES, 1983,1984).

Para a reconstrução das paleobiotas recifais é necessário considerar a tafonomia de seus elementos, que pode alterar a sua composição original. Os fatores controladores da preservação dos elementos recifais são a composição química, tamanho e arquitetura esquelética e as propriedades granulométricas do recife. Por exemplo, formas de crescimento rápido ou soterradas rapidamente estão menos vulneráveis a bioerosão, enquanto elementos ramificados e delicados, volumetricamente mais importantes e abundantes do que os robustos nas cristas recifais, possuem reduzido potencial preservacional. Em ambientes protegidos de erosão física as biotas originais têm maiores possibilidades de preservação, embora as espécies incrustantes sejam duramente afetadas por filtros tafonômicos (PUFAHL; JAMES, 2006; TSIEN, 1981).

A análise faciológica de um calcário recifal deve seguir uma metodologia sistemática visando a coleta de todas as suas feições sedimentológicas, estratigráficas e ambientais. Assim é preciso efetivar: a) descrição detalhada do calcário; b) análise da relativa diversidade específica dos organismos construtores; c) descrição de todas as formas de crescimento dos metazoários e relacioná-las com os parâmetros ambientais; e d) análise da natureza dos sedimentos internos e cimentos (JAMES, 1983; LAND; MOORE, 1980).

As estruturas recifais no registro fóssilífero podem não corresponder a uma estrutura única, mas corresponder a uma série de recifes superpostos ou empilhados, que cresceram no topo uns dos outros no mesmo lugar. Os episódios de crescimento individual de um recife são comumente separados por períodos de exposição, refletida na rocha por intensa diagênese, horizontes de calcretes ou paleosolos. Quando então o oceano recobre estas exposições o crescimento de um novo recife começa no estágio de diversificação, pois já existe um substrato duro e elevado (DAVIS JR, 1983; DUNHAM, 1970).

Um recife é uma estrutura estável e resistente à ação de ondas e tempestades. Entretanto, alguns recifes modernos mostram distúrbios periódicos em seu crescimento, devido a ação de tempestades. Estes efeitos são reconhecidos através de leitos delgados

compostos por fragmentos seixosos de corais que podem ou não constituírem ilhotas, bem como grande quantidade de material nas áreas *reef flat* e *backreef* (JAMES, 1983, 1984; RIDING, 2002; TSIEN, 1981).

#### 4 BIOHERMITO DA FORMAÇÃO PIRABAS

A litofácies recifal da Formação Pirabas ocorre sob a forma de blocos métricos, alongados na direção NW-SE, fortemente afetado por fraturas, estando a maioria em posição original e alguns basculados, em posição inclinada a verticalizado, posição esta que pode refletir controle por falhas, já caracterizadas em outras exposições da Formação Pirabas (COSTA *et al.*, 1993) (Figuras 5 a-b). Este bioherma fóssil pode ser classificado como um recife em mancha (*patch reef*), por ser pequeno e isolado, com forma elíptica a lenticular, e possuir aspectos diagenéticos peculiares, tendo se desenvolvido na rampa interna do subambiente plataformal do Mar de Pirabas. Considerando também que os constituintes deste paleoecossistema podem ter sido acumulados em instantes temporais diferentes, ele também pode ser classificado como recife estratigráfico.

O testemunho atual do que foi este pequeno recife mostra provavelmente apenas o seu núcleo, composto por uma interposição entre fluxo biogênico inconsolidado e a estrutura rígida, definida por uma malha complexamente fusionada de crostas de origem algálica resistente a ação de ondas, fortemente cimentada devido ao elevado fluxo de água do mar. A sedimentação é do tipo *grain-dominated*, e a densa quantidade de perfurações caracteriza a atividade bioerosiva. Este conjunto de feições sugere que o bioherma se desenvolveu em ambiente de alta energia, onde os principais componentes da estrutura original foram preservados. Esta reconstrução da composição taxonômica original é favorecida por esta resistência física da estrutura em si e dos corais, bivalvíos e equinóides, presença de moldes externos e internos de pequenos gastrópodes e bivalvíos escavadores obliterados ou parcialmente destruídos por diagênese meteórica, que dissolveu as conchas aragoníticas. Outro importante indício identificado é a grande concentração de algas coralíneas fortemente obliteradas tanto pelos fluidos percolantes durante a diagênese quanto pelo intemperismo.

Os topos dos blocos mostram os mais altos graus de fragmentação e abrasão esquelética que definem uma superfície de acumulação de detritos intensamente bioerodidos e cimentados, que indicam tratar-se da zona mais alta e exposta do recife, sujeita a alta energia advinda da ação das ondas, a crista recifal, principal zona

**a****b**

**Figura 5 – (a) Vista geral dos blocos métricos que compõem o biohermito; (b) detalhe da área aflorante do biohermito e da litofácies adjacente, calcilutito.**

produtiva de um recife ativo. Nesta região, o conteúdo biótico tem baixa diversidade específica, composto por formas de crescimento lamelares e incrustantes.

A forma e o crescimento irregular dos bioconstrutores macroscópicos resultam na formação de cavidades que foram preenchidas por sedimentos carbonáticos de granulação fina misturados com microfragmentos esqueletais, que são produzidos por fragmentação ou bioerosão de elementos de carapaças mais delicadas. A ação do intemperismo físico e químico nas rochas aflorantes, que ficam recobertas durante a maré alta, retirou grande parte do material preenchedor destas cavidades, resultando numa aparente arcaibouço mais aberto entre os constituintes da bioconstrução.

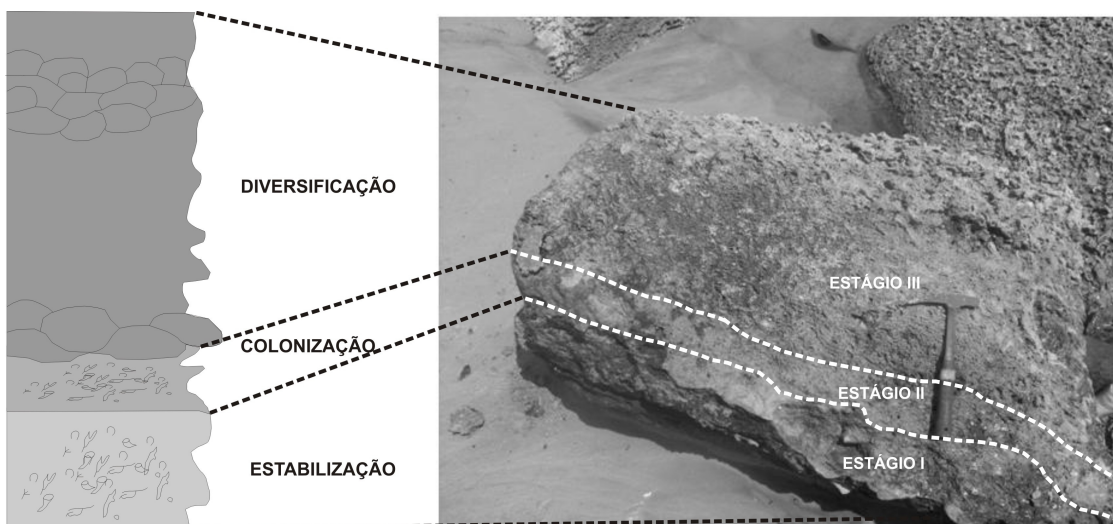
Na área aflorante não foram reconhecidos os flancos recifais, normalmente definidos por fácies distintas, predominantemente compostas por detritos recifais com mergulho deposicional mais profundo.

O mapeamento geológico da Praia do Maçarico sugere que o corpo lenticular do biohermito esteja encaixado no calcilito (Figura 6), rocha extremamente endurecida, com estrutura maciça e, fósseis pouco frequentes de corais anermatípicos, e pequenos bivalvíos e gastrópodes. Esta litofácies, também aflorante apenas nesta praia, parece corresponder às áreas além dos flancos recifais, já que foram reconhecidos produtos recifais de granulação fina, outros sedimentos carbonáticos e conteúdo fóssilífero correspondente aos elementos mais abundantes do biohermito.

Como consequência da variada e complexa estrutura esqueletal dos recifes, suas múltiplas fases de bioerosão por organismos perfuradores, sedimentação interna, cimentação e diagênese, a sua fábrica rochosa é altamente complexa em escala macroscópica. Embora existam algumas propostas de classificação para esta complexa fábrica (DUNHAM 1970; RIDING, 2002; JAMES; GINSBURG, 1979; LAND; MOORE, 1980; TSIEN, 1981) a utilizada com certa eficácia atualmente e adotada no presente trabalho, tem sido a elaborada por Embry e Klovan (1971), que reconhece o componente alóctone como *floatstone* e *rudstone*, em substituição a *wackestone* e *Rudstone*, se mais de 10% das partículas são maiores que 2mm. Os componentes autóctones são especificamente o material recifal *in situ*, sendo denominado entre *framestone* (subjetivo), *bindstone* ou *bafflestone* (interpretativos).



**Figura 6 – Litofácies calcilitito, onde o biohermito provavelmente está encaixado.**

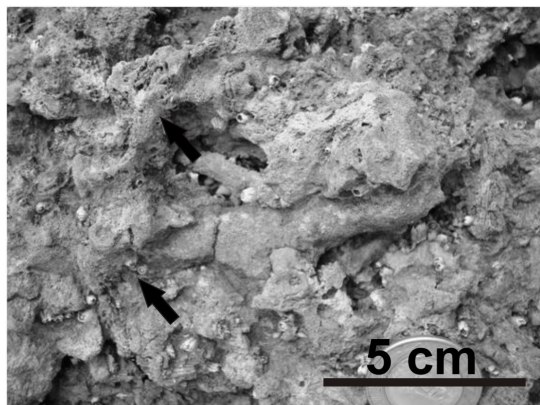


**Figura 7 – Perfil esquemático e bloco métrico do biohermito com os três estágios de sucessão ecológica.**

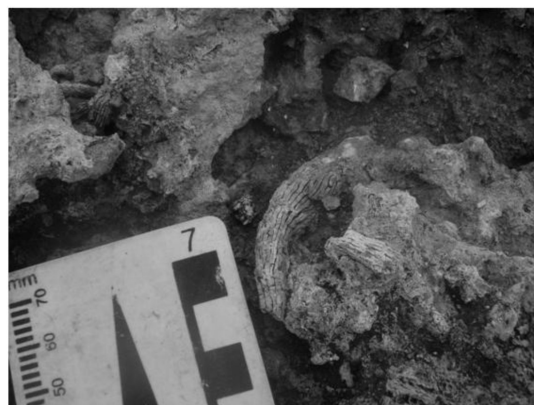
#### 4.1 SUCESSÃO ECOLÓGICA

A composição, espessura, variação textural e relações espaciais das litofácies identificadas, bem como a extensão areal do bioherma, sugerem que esta bioconstrução constituiu uma unidade de sedimentação contínua, acumulada e desenvolvida sob condições de trato de sistema transgressivo passando a trato de sistema transgressivo de mar alto, durante um curto intervalo de tempo, cuja instalação de condições ambientais relacionadas a um trato de sistema regressivo impediu o aumento de sua acreção. A taxa de crescimento recifal relaciona-se diretamente com a variação do nível do mar e a respectiva variação da espessura da lâmina d'água, possibilitando a rápida acumulação e instalação deste complexo ecossistema. Foram reconhecidos da base para o topo, os estágios correspondentes as fases de sua sucessão ecológica autogênica, onde cada um deles prepara o meio para o próximo, pois cada comunidade altera o ambiente para que outra adaptada às novas condições ocupe com êxito o ecoespaço.

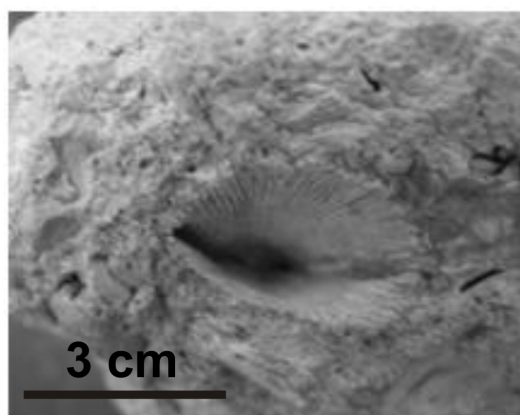
Este bioherma apresenta três estágios reconhecidos (estabilização, colonização e diversificação) e ecologicamente sucessivos (Figura 7), que caracterizam uma comunidade abundante e pouco diversa. Os construtores principais, corais escleractíneos e algas coralíneas, e os secundários, que preenchem os espaços internos e ajudam na consolidação do bioherma, permitem visualizar ao longo do perfil uma substituição sucessiva que reflete a relação direta entre alteração do meio físico (aumento da profundidade) e a resposta biótica (aumento paulatino da abundância e diversidade). Cabe acrescentar a ação dos organismos geradores de sedimentos biodetríticos, importantes fornecedores de carbonatos para o sistema como um todo (por exemplo, as macroalgas) (Figuras 8a-n). Na parte superior do Estágio III, diversificação, ocorrem finas crostas micríticas que indicam degradação das condições ambientais favoráveis à acreção recifal, explicando desta forma ausência do registro da quarta e última fase da sua sucessão ecológica, o estágio de domínio. A continentalização do sítio deposicional, provavelmente impediu o seu desenvolvimento completo, quando o sistema que passou a siliciclástico continental, e a evolução ambiental, definiu condições de ambiente mais raso, contraindo o ecoespaço do



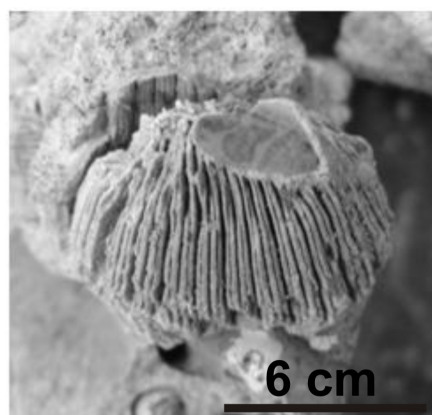
a



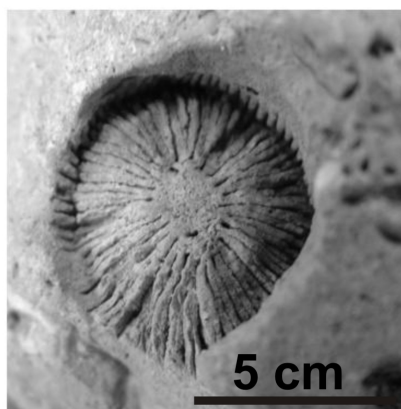
b



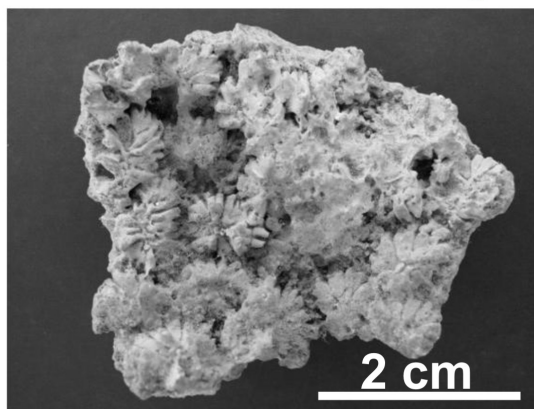
c



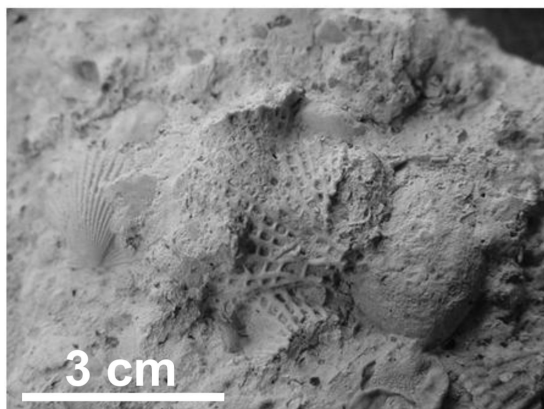
d



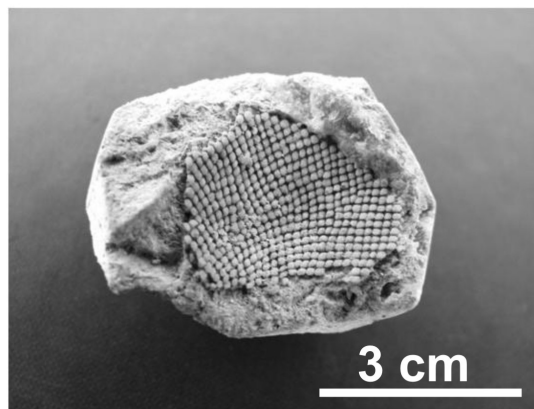
e



f



g



h

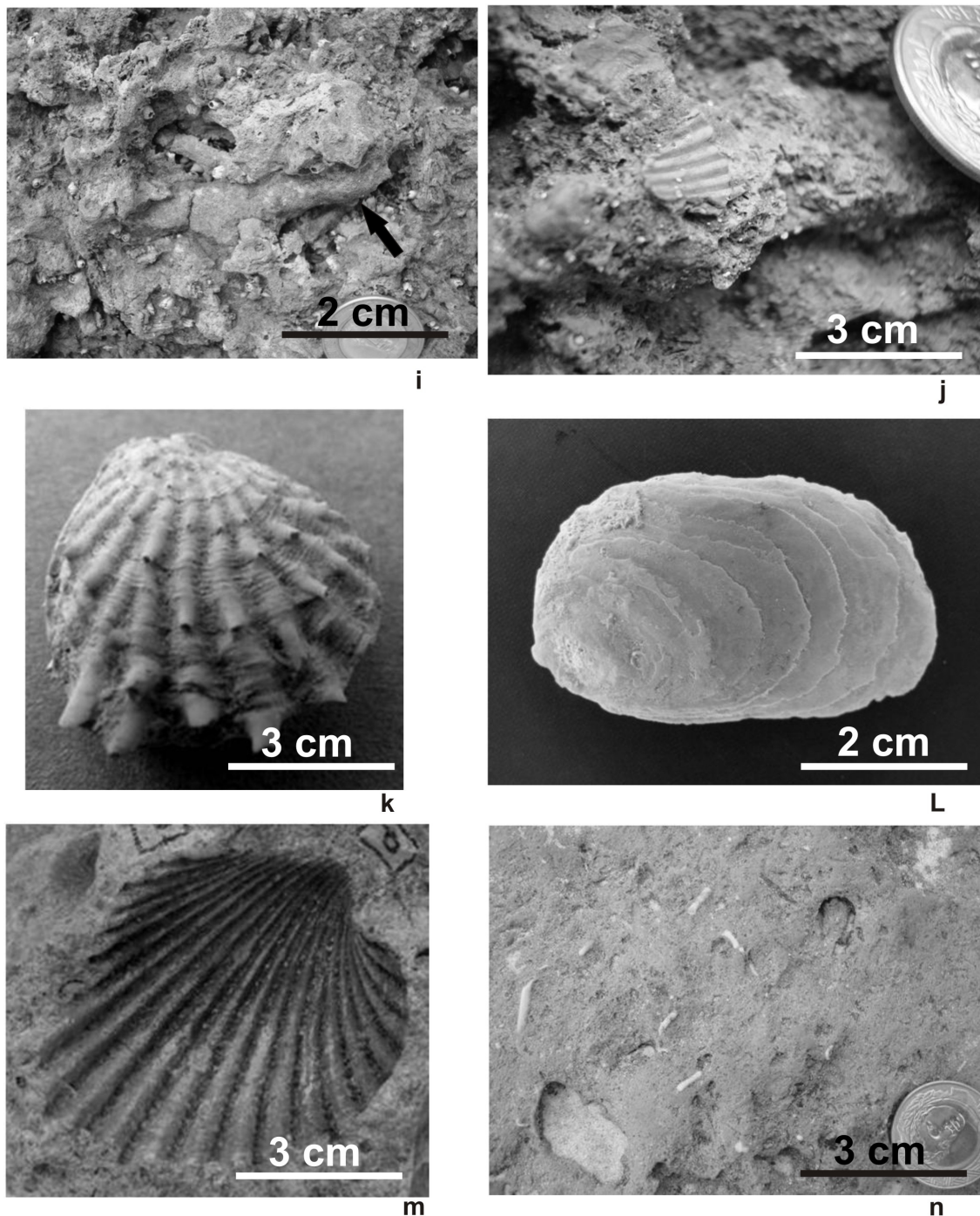


Figura 8 – Principais constituintes bióticos do biohermito. (a) crostas algáticas, corais escleractíneos anermatípicos (b) *Stylophora*, (c) e (d) *Flabellum*, (e) *Discotrochus*, corais escleractíneos hermatípicos (f) *Cladocora*, briozoários (g) *Steginoporella* e (h) *Lunulites*, (i) poríferos calcispôngios, moluscos bivalvíos (j) pectinídeos, (k) *Plicatula*, (l) *Crassostrea*, (m) *Venericardia* e espinhos de equinóides regulares.

pequeno recife. A intensa litificação combinada com a erosão física e biológica impediu a individualização de zonas específicas em cada um dos estágios supracitados (VILLAÇA, 2009).

#### 4.1.1 Estágio Estabilização

A litologia margosa basal, *bafflestone*, com espessura variando entre 5 cm e 32 cm, é constituída por areias calcárias maciças com raros restos esqueléticos de algas verdes (Figuras 9 a-b). Foi provavelmente restrito à fase inicial da instalação do trato de sistema transgressivo, onde os altos topográficos pré-existentes no substrato do mar de Pirabas foram inundados e colonizados. O substrato duro deve ter sido disponibilizado a partir de fragmentos do fluxo biogênico inconsolidado e dos restos esqueléticos algálicos já vivos na área, formando pequenos refúgios de substratos duros compostos por restos inorgânicos que permitiam a fixação das larvas dos metazoários. Este processo de retroalimentação tafonômica favoreceu a continuidade do crescimento dos estágios subsequentes da bioconstrução, que guardava uma associação orgânica com reduzida competição por espaço e nutrientes. Considera-se também que a instalação da comunidade foi favorecida pelo nível de energia do meio, que trouxe abundantes elementos do fitoplâncton e maior oxigenação.

O conteúdo biótico ocorre como uma acumulação de detritos esqueléticos, estando representados por pequenos fragmentos de carapaças e espinhos de equinóides regulares (65%), bivalvíos e gastrópodes (15%), algas (10%) e outros componentes, entre briozoários, corais anematópicos e espongiários, que perfazem 10% do total. Estes elementos estão envolvidos por uma matriz argilosa carbonática com microfragmentos de carapaças *incertae sedis* numa proporção entre 35% de bioclastos e 65% de grãos terrígenos (silte e argila).

**a****b**

**Figura 9 – (a) e (b) litologia margosa basal, *bafflestone*, correspondente ao estágio de estabilização do bioherma.**

### 4.1.2 Estágio Colonização

Esta fase da acreção biohermal é representada também pela fácies *bafflestone*, com espessura entre 4 cm e 10 cm, é também composta por areia calcária, com estratificação cruzada decimétrica incipiente (Figura 10). Representa o primeiro pulso de colonização do recife, o primeiro substrato sólido e estável, com baixa diversidade e representatividade numérica. Encontrou condições ideais para se desenvolver quando o sistema deposicional passou para de trato transgressivo de mar alto, que aumenta o espaço de acomodação e permite crescimento vertical e lateral da comunidade seguida de acreção vertical e lateral tanto da construção quanto de comunidades juvenis, com o aumento da turbulência, instalação de um sistema de correntes que espalharam o fitoplâncton até o substrato do bioherma.

Do ponto de vista biótico é composta por fragmentos de corais maciços e ramificados, além de valvas de jovens e adultos de ostreídeos e plicatulídeos, imersos por uma matriz micrítica, numa proporção de 15% de bioclastos e 85% de grãos terrígenos.

### 4.1.3 Estágio Diversificação

A fácies *framestone*, mais abundante e expressiva com espessura variando entre 25 cm e 60 cm, é constituída por areia quartzosa com silte e lama carbonática. Compreende a maior parte da massa recifal, onde a construção começa seu crescimento vertical em direção ao nível do mar. O número de táxons dobra, e a sua representatividade numérica atinge seu máximo, quando a concentração de esqueletos de corais produz um arcabouço fechado, e tornam-se muito freqüentes fragmentos de moluscos e equinodermas, além de estruturas de bioturbação. Também fica bem evidente a contribuição do fluxo biogênico inconsolidado para o desenvolvimento mais rápido da bioconstrução, que aumenta a sua área abruptamente (Figuras 11a-c).

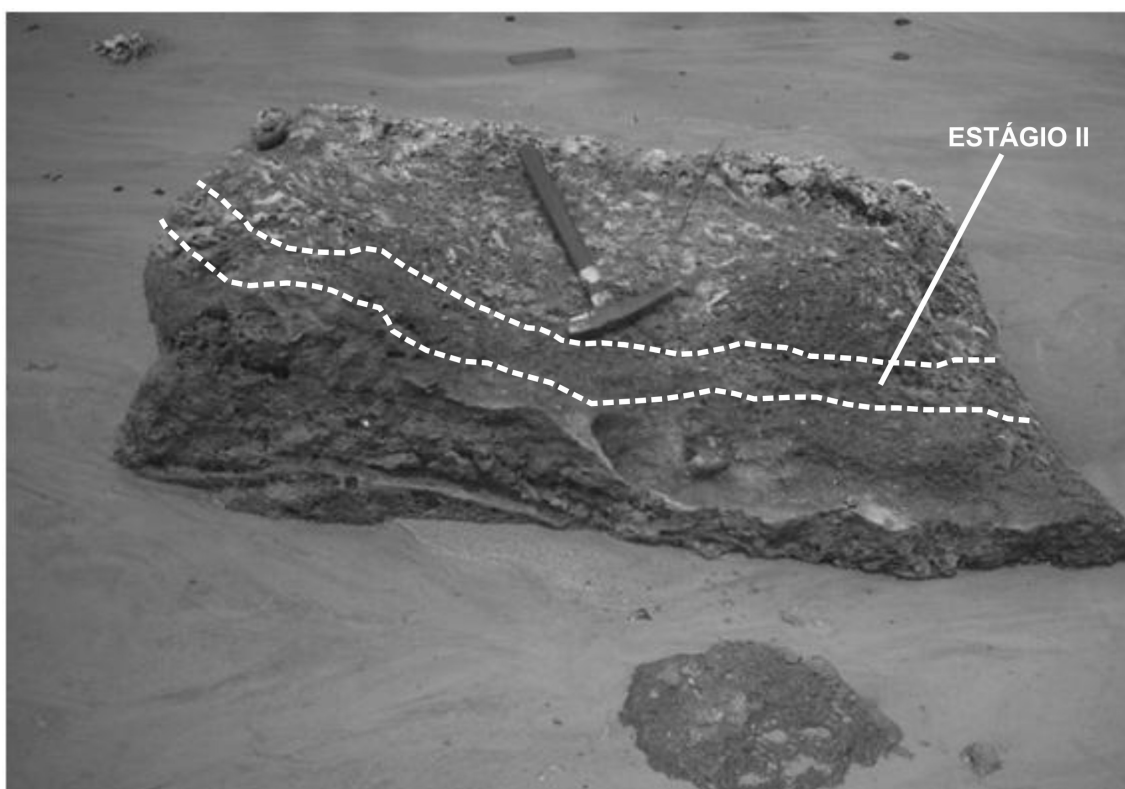


Figura 10 - Fácies *bafflestone* constituída por areia calcária e estratificação cruzada de pequeno porte, correspondente ao estágio colonização (II) do bioherma.



a



b



c

Figura 11 - Fácies *framestone*, correspondente ao estágio de diversificação do biohermito, onde em (a) e (b) observa-se o contato com a fácies *bafflestone* do estágio de estabilização, e em (c) destacam-se no topo a complexa malha de crostas algálicas fortemente cimentadas e as crostas micríticas.

A associação faunística inclui algas coralíneas (*Lithothamnium*), macroforaminíferos, espongiários, corais hermatípicos (*Stylophora*, *Dendrophyllia*), corais anermatípicos (*Flabellum*, *Discotrochus*), briozoários queilostomados (*Lunulites*, *Steginoporella*), moluscos bivalvíos (*Arca*, *Crassostrea*, *Cubitostrea*, *Pitar* (*Lamelliconcha*), Pectinidae, *Venericardia*), moluscos gastrópodes (*Architectonica*, *Cypraea*, *Pyrula*, *Turritella*, Vermetidae) e equinóides (*Phyllacanthus*, *Prionocidaris*). O tamanho médio destes bioclastos varia entre 2 cm e 10 cm, e tem-se 45% de bioclastos e 55% de grãos terrígenos.

A expressiva representatividade litofaciológica e biótica deste terceiro estágio caracterizado sugerem que as condições ambientais de salinidade, disponibilidade de nutrientes, circulação, oxigenação e turbidez favoreceram a rápida expansão de organismos estenohalinos especializados.

Também neste estágio III foi reconhecido um horizonte delgado, contínuo e preservado na maioria dos blocos representativos do biohermito, que se destaca por representar um nível com diagênese mais intensa do que no restante da litofácies (Figura 12). Sendo mais bem caracterizado em dois blocos que sofreram acentuado intemperismo, que o destacou como uma superfície mais rígida, representa um segundo recife, que começou já no estágio diversificação. Este padrão pode indicar a existência de pelo menos dois recifes superpostos.

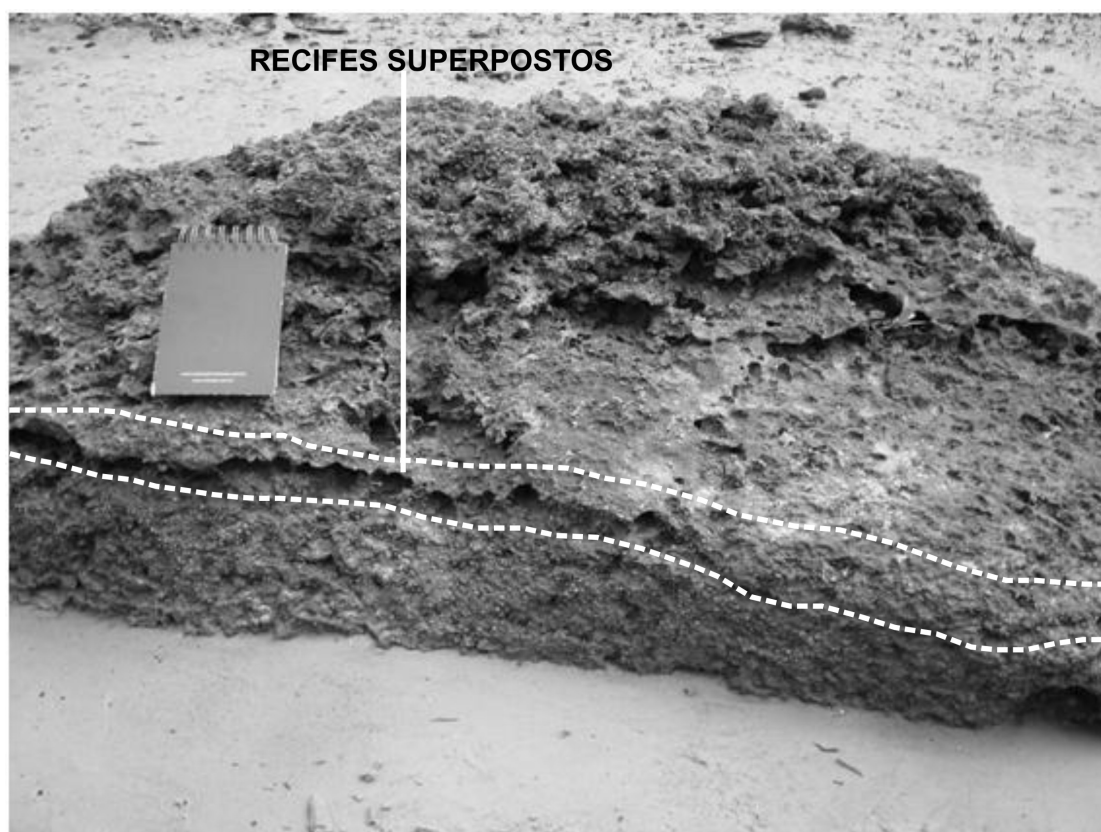


Figura 12 - Horizonte delgado, contínuo e bem endurecido que representa dois recifes superpostos.

## 5 MICROPALAEONTOLOGIA

### 5.1 ANÁLISE MICROFAUNÍSTICA

O estudo micropaleontológico de amostras procedentes da litofácies recifal da Formação Pirabas revelou um conteúdo de associações caracterizadas por baixa diversidade genérica e representatividade numérica. Estes dados, aliados aos levantados sobre a diagênese das rochas analisadas, sugerem que muitos indivíduos podem ter sido dissolvidos, explicando talvez a modesta orictocenose originada a partir de um ecossistema normalmente muito rico em associações bióticas.

- Entre os foraminíferos (Figura 13) foram reconhecidos:

*Ammonia beccarii* var. *parkinsoniana* (d'Orbigny)

*Amphistegina lessonii* (d'Orbigny)

*Bolivina escalprata* Schwager var. *miocenica* Maxfadyen

*Elphidium sagrum* (d'Orbigny)

*Elphidium* sp1.

*Elphidium* sp2.

*Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny)

*Quinqueloculina akneriana* (d'Orbigny)

*Quinqueloculina lustra* (Cushman)

- A ostracofauna (Figura 14) é composta por:

*Aurilla amygdala* (Stephenson)

*Cytherelloidea obliquecostata* (Bold)

*Loxococoncha* sp. (Sars)

*Loxocorniculum* sp.

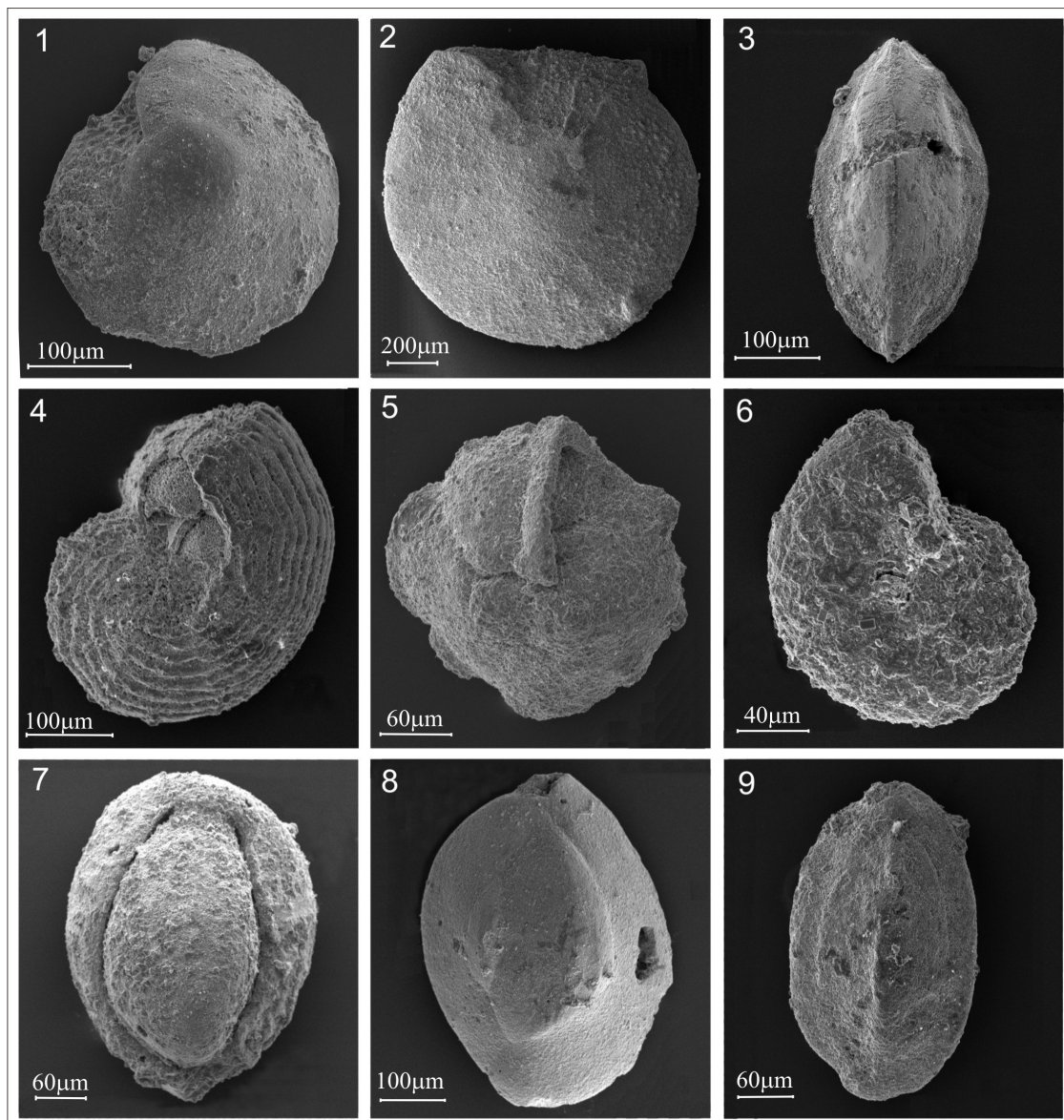
*Macropyxis* sp.

*Munseyella minuta* (Bold)

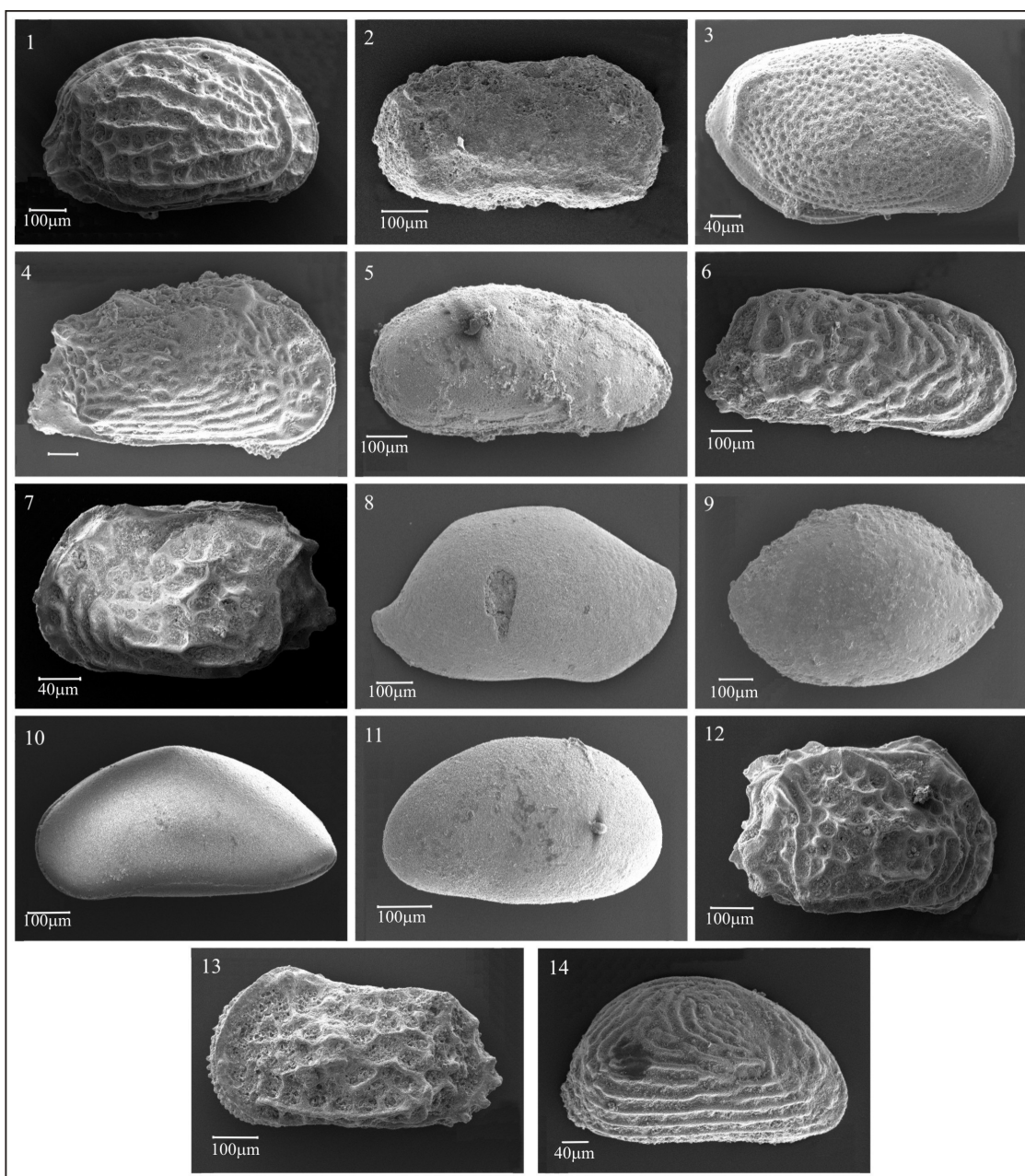
*Neocaudites* cf. (Edwards)

*Neonesidea amygdaloides* (Brady)

*Neonesidea bradyi* (Bold)



**Figura 13 - Foraminíferos reconhecidos na litofácies recifal da Formação Pirabas: 1 - *Ammonia beccarii* var. *parkinsoniana* (d'Orbigny) (x240); 2 - *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny) (x67); 3 - *Bolivina escalprata* Schwager var. *miocenica* (Maxfadyen) (x220); 4 - *Elphidium sagrum* (d'Orbigny) (x200); 5 - *Elphidium sp1.* (x280); 6 - *Elphidium sp2.* (x443); 7 - *Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny) (x195); 8 - *Quinqueloculina akneriana* (d'Orbigny) (x170); 9 - *Quinqueloculina lustra* (Cushman) (x260).**



**Figura 14 - Representantes da ostracofauna encontrada na litofácies recifal da Formação Pirabas: 1 - *Aurila amygdala* (Stephenson) (x114); 2 - *Cytherelloidea obliquecostata* (Bold) (X150); 3 - *Loxococoncha* sp. (Sars) (x278); 4 - *Loxocorniculum* sp. (x260); 5 - *Macropyxis* sp. (x169); 6 - *Munseyella minuta* (Bold) (x116); 7 - *Neocaudites* sp. (Edwards) (x130); 8 - *Neonesidea amygdaloides* (Bradyi) (x88); 9 - *Neonesidea bradyi* (Bold) (x94); 10 - *Paracypris* sp. (Howe & Law) (x142); 11 - *Paranesidea* sp. (x154); 12 - *Quadracythere* sp. (Hornibrook) (x122); 13 - *Tenedocythere turda* (Holden) (x158); 14 - *Xestoleberis dactylotypa* (Bold) (x210).**

*Paracypris* sp. (Howe & Law)

*Paranesidea* sp.

*Quadracythere* sp. (Hornibrook)

*Tenedocythere turda* (Holden)

*Xestoleberis dactylotypa* (Bold)

- A composição taxonômica dos microbriozóários (Figura 15) inclui:

*Crisia* sp.

*Vincularia* sp.

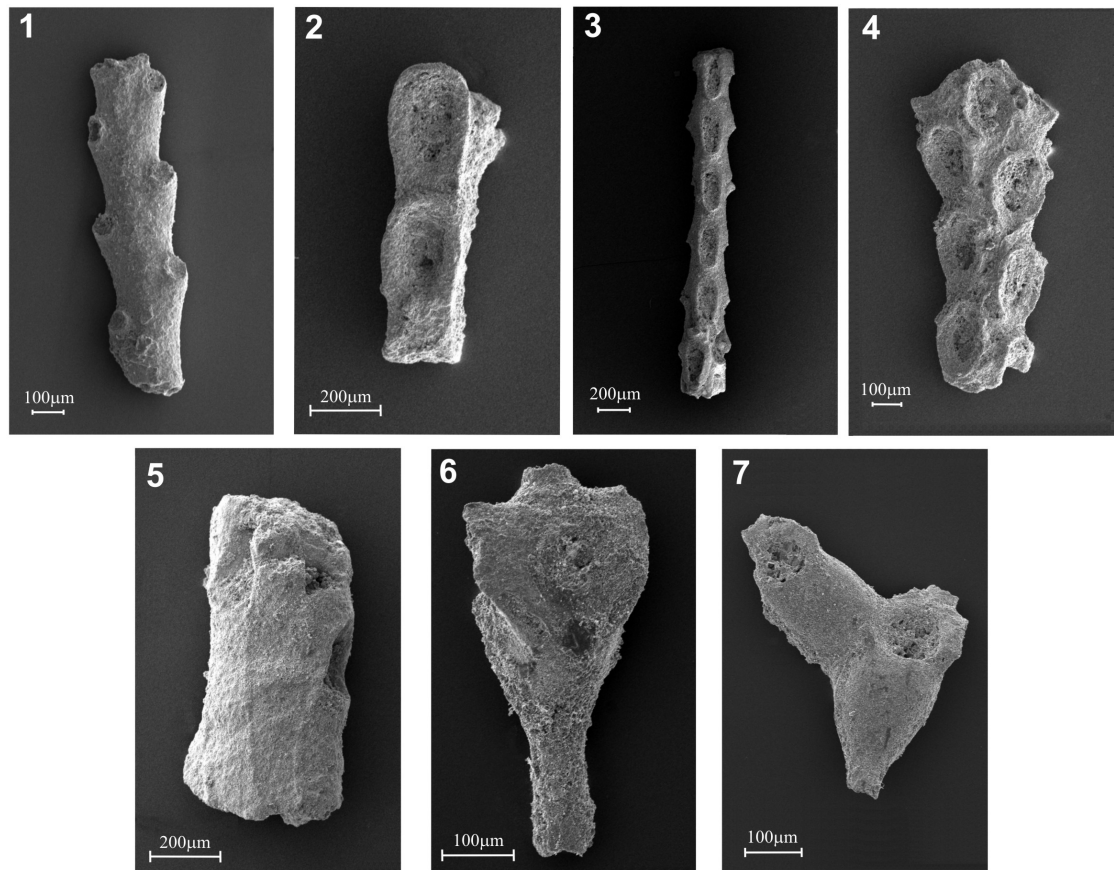
*Nellia oculata* (Busk)

*Bugula* sp.

*Metrahabdotos* sp.

*Pasythea tulipifera* (Ellis & Solander)

*Vittaticella elegans* (Busk)



**Figura 15 - Composição taxonômica dos microbriozoários na litofácies recifal da Formação Pirabas: 1 - *Crisia sp.* (x71); 2 - *Vincularia sp.* (x55); 3 - *Nellia oculata* (Busk) (x48); 4 - *Bugula sp.* (x52); 5 - *Metrahadotos sp.* (x69); 6 - *Pasythea tulipifera* (Ellis & Solander) (x135); 7 - *Vittaticella elegans* (Busk) (x138).**

## **5.2 INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS**

O conteúdo microfossilífero do biohermito possibilitou a efetivação da reconstrução paleoambiental da Formação Pirabas deste específico ecossistema. Para isso foram utilizados critérios ecológicos/ paleoecológicos e tafonômicos, cuja quantificação e qualificação favorecem a reconstrução do pequeno recife do Mar de Pirabas, registrado na Praia do Maçarico.

O estudo dos foraminíferos bentônicos tem base nos seguintes critérios: táxons dominantes, relação foraminíferos plantônicos/foraminíferos bentônicos, diversidade genérica, indicadores ambientais e tamanho dos espécimes. Segundo Pinheiro (2006), os ostracodes e briozoários são, em grande parte, tolerantes a variações ambientais, logo o estudo dessas faunas complementa as informações obtidas a partir dos foraminíferos bentônicos.

No estudo dos ostracodes as interpretações tiveram base na relação entre morfologia e substrato, em alguns indicadores ambientais e na relação entre valvas isoladas e carapaças.

Os dados levantados permitiram a observação de tendências faunísticas que possibilitaram a interpretação da evolução paleoambiental a partir da microfauna em consonância com os elementos macrobentônicos.

### **5.2.1 Foraminíferos**

Os foraminíferos são considerados importantes constituintes dos depósitos carbonáticos, uma vez que suas tecas representam uma porção significativa dos sedimentos carbonáticos em ambos os estilos de acumulação dos recifes de corais pelo menos desde o Cretáceo, tendo, pois um papel importante no ecossistema como um todo. Segundo Murray (1991), muitos gêneros mostram padrões de distribuição relacionados a ambientes específicos, sendo que a fauna bentônica possui maior distribuição devido a sua capacidade de adaptação a diferentes ambientes, vivendo

abundantemente sobre e no interior do substrato, inclusive entre os grãos de sedimentos e superfícies rígidas, bem como sobre plantas marinhas (formas fitais).

Nas amostras da litofácies biohermito foram triados 126 espécimes distribuídos nos três estágios de sua sucessão ecológica, sendo 48 no estágio de estabilização, quatro no estágio de colonização e 74 no estágio de diversificação. Além de pouco abundantes, essa associação caracteriza-se por baixa diversidade genérica, em ordem decrescente do tamanho de suas populações: *Amphistegina*, *Quinqueloculina*, *Elphidium*, *Pyrgo*, *Ammonia* e *Bolivina* (Tabela 1).

Murray (1991) propõe associações de foraminíferos para subambientes das bordas atlânticas da América do Norte, América do Sul, Europa e África, oceanos Atlântico, Índico, Pacífico, Sul e Ártico, Mediterrâneo, Mar do Caribe e Golfo do México. No entanto, o autor não individualizou associações recifais para a América do Sul. A associação foraminiferológica estudada não se enquadra com regiões geográficas que possuem ecossistemas similares ou correlatos, impedindo situar a associação do biohermito da Formação Pirabas dentro da proposta do autor supracitado.

**Tabela 1** Distribuição das espécies de foraminíferos nos estágios de sucessão ecológica do biohermito.

<b>Estágio da sucessão ecológica</b>	<b>Estabilização</b>	<b>Colonização</b>	<b>Diversificação</b>
<b>Gênero</b>			
<i>Ammonia beccarii</i>	2	-	1
<i>Amphistegina lessonii</i>	38	4	44
<i>Bolivina escalprata</i>	1	-	-
<i>Elphidium sagrum</i>	-	-	2
<i>Elphidium sp1.</i>	-	-	4
<i>Elphidium sp2.</i>	-	-	1
<i>Pyrgo subsphaerica</i>	1	-	5
<i>Quinqueloculina akneriana</i>	1	-	4
<i>Quinqueloculina lustra</i>	5	-	13
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>74</b>

Segundo Petri e Vieira (1974), o índice de diversidade é maior quanto mais estável é o ambiente com relação aos agentes físicos, químicos e geológicos, sendo assim, o mesmo tende a aumentar com o aumento da profundidade nos biótopos da

plataforma continental. Além disso, as comunidades ecologicamente bem desenvolvidas ou evoluídas apresentam maior diversidade do que as jovens ou em estabelecimento. Nestas, tal como nas comunidades resultantes de mudanças rápidas de ambiente, pode ocorrer um desenvolvimento explosivo de uma unidade taxonômica, de modo que a diversidade é baixa e a dominância é alta (TINOCO, 1989). A espécie *Amphistegina lessonii* é caracterizada como abundante em áreas recifais, possuindo comportamento simbiótico com vasta amplitude em todo o mundo, e considerado um excelente bioindicador recifal (HALLOCK *et al.*, 1995<sup>8</sup> *apud* BRUNO *et al.*, 2009). Além disso, segundo Moraes e Machado (2001), o gênero *Amphistegina* é muito resistente às condições de desgaste impostas pelo transporte e, por esse motivo, tem sido amplamente utilizado em estudos de resistência de testa. Sendo assim, a baixa diversidade e dominância dessa espécie no biohermito são resultantes da diagênese, que causou a dissolução de muitas tecas de outras espécies colaborando com o predomínio de *Amphistegina*, pois além de ser naturalmente abundante em ambientes recifais apresenta teca muito resistente, provavelmente também à dissolução.

Segundo Monismith (2007), a complexidade geométrica dos recifes de corais induz mecanismos de fluxo desde a escala de colônias de corais até de recifes inteiros. A estrutura de carbonato produzida pelos pólipos dos corais é uma superfície muito resistente, que promove a transferência de massas de água amortecendo o choque das ondas para que o fluxo seja menos intenso sobre os organismos de modo que transporte os nutrientes entre eles. Segundo o mesmo autor, o fluxo ao redor de recifes isolados gera vorticidade vertical, ou seja, a água movimentada-se como redemoinhos aumentando a energia local. A crista recifal é a área mais afetada pelas ondas, logo apresenta maior grau de abrasão e fragmentação de espécimes.

Os táxons identificados pertencem às subordens Miliolida e Rotaliida, o que pode estar relacionado com a maior resistência de suas tecas que, por serem mais robustas, suportam os processos de saltação e arrasto desgastando-se em menor grau do que as formas aglutinantes e microgranulares (MURRAY, 1991; ARAUJO; MACHADO, 2008).

---

<sup>8</sup> Hallock P., Talge H.K., Cockey E.M., Muller R.G. A new disease in reef-dwelling foraminifera: implications for coastal sedimentation. *J. Foraminiferal Res.*, 25:280-286. 1995.

A espécie *Amphistegina lessonii*, que ocorre em todos os estágios, é comum em águas límpidas de regiões recifais e, assim como *Elphidium*, se fixa em algas (LEÃO, 1982<sup>9</sup> e KITAZATO, 1988<sup>10</sup> *apud*. RIBEIRO, 2009; PINHEIRO, 2006). Esse taxa, é o mais abundante nas amostras do biohermito correspondentes ao estágio de diversificação, composto por areia quartzosa com silte e lama carbonática, coincidindo com o tipo de sedimento em que ocorre nos complexos recifais atuais (RIBEIRO, 2009). Segundo o mesmo autor, os gêneros *Quinqueloculina*, *Pyrgo*, *Elphidium* e *Ammonia* predominam em substratos argilosos a areno-argilosos e, segundo Murray (1991), *Bolivina* é típico de substrato de areia fina a lamoso. Esses dados condizem com o encontrado no biohermito para os três gêneros mais abundantes no estágio de diversificação, cuja litofácies também é composta por silte e lama carbonática.

Os gêneros encontrados são comuns de águas rasas, sendo que *Amphistegina* ocorre até profundidades de 50m – as algas comensais que o acompanham são restritas à zona fótica, assim como *Ammonia*, enquanto *Elphidium* é raro abaixo de 28m (MURRAY, 1991; PINHEIRO, 2006). As populações de algumas espécies são ecofenotípicas, pois se adaptam às condições ambientais de seus nichos específicos, podendo ser morfológicamente distintos. Estudos experimentais têm mostrado que *Ammonia beccarii* pode gerar até sete morfotipos e um complexo de espécies de *Elphidium* das costas atlânticas da América do norte e da Europa foram interpretadas por alguns autores como um grupo de ecofenótipos. Esses dados explicam a ocorrência de associações viventes de *Ammonia beccarii* em profundidades variando de 35 a 90m no Mediterrâneo, e em torno de até 130m no Mar Cáspio (MURRAY, 1991). Os espécimes de *Elphidium* do biohermito também ocorrem no estágio de diversificação, que é correspondente a um trato de sistema de mar alto que provavelmente atingiu profundidades em torno de 50m. Sendo assim, a ocorrência desse gênero em profundidades maiores que o esperado pode estar refletindo a ocorrência de ecofenótipos.

Segundo Pinheiro (2006), o tamanho dos organismos é determinado por fatores genéticos e ambientais, sendo que em ambientes transicionais os táxons não atingem

---

<sup>9</sup> LEÃO, Z.M.A.N. *Morphology, geology and developmental history of the southernmost coral reefs of Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil*. 218p, Ph.D. (Dissertation), Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida, U.S.A., 1982.

<sup>10</sup> KITAZATO, H. Ecology of Benthic Foraminifera in the Tidal Zone of a Rocky Shore. *Rev. Paléobiologie*, Vol Spec. N. 2, Benthos '86, p815-825, 1988.

seu tamanho normal atingido pelas populações de ambientes marinhos estáveis. Os espécimes do biohermito apresentam tamanho inferior ao normal, indicando que os parâmetros ambientais eram oscilantes interferindo no desenvolvimento ontogenético dos foraminíferos.

As tecas coletadas apresentam sinais de abrasão, sendo que algumas estão fragmentadas e outras com colocação amarelada. Classificando a associação resultante de modificações *postmortem* segundo Murray (1991), a associação de foraminíferos do biohermito está situada no campo IC – transporte pequeno ou ausente, presente em lama, silte ou areia lamosa, com poucas e pequenas tecas calcárias e/ou tecas hialinas quebradas e opacas – caracterizando abrasão moderada. A cor amarelada pode ser resultado de uma baixa velocidade de deposição, possibilitando a oxidação dos grãos, ou ainda do revolvimento de sedimentos pela alta energia do ambiente (BATISTA *et al.*, 2007).

Os foraminíferos planctônicos são encontrados desde a superfície até profundidades da ordem de 2000m, logo o número de exemplares de testas planctônicas encontradas em sedimentos é maior quanto maior a profundidade (TINOCO, 1984). A ocorrência dessas formas e, por conseguinte, da relação foraminíferos planctônicos/foraminíferos bentônicos pode ser definida como sendo inversamente proporcional ao grau de turbidez da água, que por sua vez depende da distância da costa e aporte de águas fluviais (PETRI, 1974). Além disso, segundo Távora e Coelho (2006), esse grupo é mais suscetível a dissolução devido à estrutura porosa, menor espessura e forma das câmaras de suas tecas. Não foram encontradas formas planctônicas em nenhum estágio de sucessão ecológica, provavelmente por esse ter se desenvolvido em águas rasas. No período em que o mar atingiu o ponto mais alto da transgressão, durante o qual houve a deposição de um trato de sistema de mar alto, essas formas podem ter sido depositadas, no entanto, devido a intensa diagênese que ocorreu no biohermito, não foi possível a preservação das mesmas. A ausência de textularídeos se explica por seus representantes normalmente não habitarem águas quentes em virtude da concorrência com as formas calcárias, ou ainda pela intensidade dos processos tafonômicos que teriam ocasionado sua total destruição.

O conteúdo taxonômico encontrado no biohermito, juntamente com as características litológicas, definem um ambiente recifal de águas rasas e quentes de alta

energia, provavelmente com influência continental, o que causou uma oscilação nos parâmetros ambientais. As variações da associação faunística e dos substratos nos estágios de sucessão ecológica refletem a variação das condições ambientais de trato de sistema transgressivo, caracterizado pelas areias calcárias e predomínio de *Amphistegina*, a trato de sistema transgressivo de mar alto, com deposição de silte e lama carbonática e o aumento no número de espécimes dos gêneros *Quinqueloculina*, *Pyrgo* e *Elphidium*, que são característicos desse tipo de sedimento.

### 5.2.2 Ostracodes

Os ostracodes são considerados uma excelente ferramenta para reconstruções paleobiogeográficas e caracterização de bioprovincias ao longo de todo o Fanerozóico e, especialmente, no Cretáceo. Além disso, no caso de raridade ou ausência de outros grupos de microfósseis e, em depósitos de águas rasas, onde são muito abundantes, sua utilização evidencia resultados muito significativos (PIOVESAN, 2008).

Nas amostras da litofácies biohermito foram triadas um total de 81 valvas isoladas e 235 carapaças. A distribuição das valvas isoladas e carapaças, respectivamente, ocorre da seguinte forma: 55 e 164 no estágio de estabilização, 5 e 34 no estágio de colonização e 21 e 37 no estágio de diversificação. As espécies encontradas são, em ordem decrescente de abundância: *Aurila amygdala*, *Quadracythere* sp., *Tenedocythere turda.*, *Paranesidea* sp., *Neonesidea amygdaloides*, *Neonesidea bradyi*, *Loxocorniculum* sp., *Paracypris* sp., *Loxoconcha* sp., *Xestoleberis dactylotypa*, *Macropyxis* sp., *Munseyella minuta*, *Cytherelloidea obliquecostata* e *Neocaudites* sp.; caracterizando uma fauna pouco diversificada genérica e especificamente (Tabela 2).

Segundo Tinoco (1989), com exceção das faunas batiais que são bem características e cosmopolitas, ainda não há relação bem definida entre ostracodes e profundidade. Estes habitam desde a plataforma até a região abissal, sendo, na maioria das vezes, mais abundantes e diversificados na plataforma, de modo que a relação ostracodes/foraminíferos aumenta a medida que se caminha em direção a ambientes

marginais a partir de zonas marinhas profundas (PIOVESAN, 2008; PINHEIRO, 2006). Os ostracodes neríticos diferem substancialmente dos batiais e abissais, pois além de possuírem populações menores, alguns táxons tendem a apresentar distribuição pandêmica (GHILARDI, 2004). O predomínio de carapaças em relação a valvas isoladas caracteriza a distribuição correspondente à tanatocenose original, além disso, a relação ostracodes x foraminíferos confirma o subambiente da litofácies como sendo de águas rasas.

**Tabela 2 Distribuição das espécies de ostracodes nos estágios de sucessão ecológica do biohermito.**

Gênero	Estabilização		Colonização		Diversificação	
	Valvas	Carapaças	Valvas	Carapaças	Valvas	Carapaças
<i>Aurila amygdala</i>	12	40	3	10	6	13
<i>Cytherelloidea obliquecostata</i>	-	-	-	-	-	1
<i>Loxoconcha sp.</i>	2	5	-	1	-	-
<i>Loxocorniculum sp.</i>	5	6	-	2	-	-
<i>Macropyxis sp.</i>	-	1	-	-	1	2
<i>Munseyella minuta</i>	1	1	-	-	-	-
<i>Neocaudites sp.</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Neonesidea amygdaloides</i>	12	4	2	4	7	-
<i>Neonesidea bradyi</i>	2	15	-	-	2	6
<i>Paracypris sp.</i>	1	6	-	-	-	4
<i>Paranesidea sp.</i>	1	20	-	2	3	5
<i>Quadracythere sp.</i>	5	48	-	11	1	3
<i>Tenedocythere turda</i>	11	15	-	4	1	3
<i>Xestoleberis dactylotypa</i>	2	3	-	-	-	-
Total	55	164	5	34	21	37

A composição dos sedimentos de fundo é determinante na distribuição destes microcrustáceos. Em geral, as formas lisas são predominantes em sedimentos finos, especialmente argilosos, e as ornamentadas são mais comuns em sedimentos de maior granulometria ou calcários (BABINOT, 1995<sup>11</sup> *apud*. PIOVESAN, 2008). A relação entre morfologia e substrato está representada nos estágios de sucessão ecológica do biohermito, de modo que no estágio estabilização, caracterizado por areias calcárias, as

<sup>11</sup> BABINOT, J. Patterns of variability in ostracodes species and communities from the Late Cretaceous carbonate platforms: a report for ecozonal modeling and the study of ambiental conditions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 119v, p.93-106, 1995.

espécies ornamentadas estão em maior quantidade que as lisas, tanto em número de indivíduos como na diversidade específica. O inverso ocorre no estágio de diversificação, que também é composto por lama carbonática, onde as formas lisas estão em maior proporção.

A espécie *Paranesidea sp.*, segundo Ghilardi (2004), é habitante de águas rasas e quentes, muito comum em ambientes coralíneos e fundos constituídos por algas calcárias. Segundo Tinoco (1989), nas áreas subordinadas a fortes correntes, as espécies tendem a desenvolver carapaças mais robustas e com ornamentação reticulada. Sendo assim, a presença de *Paranesidea* juntamente com a dominância das espécies *Aurila amygdala* e *Quadracythere sp.*, que apresentam as características consideradas pelo autor, definem um ambiente recifal com alta energia, sendo esta também evidenciada pela ocorrência de valvas isoladas, cuja proporção varia de 25% no estágio de estabilização a 36% no estágio de diversificação, pela fragmentação e pela coloração amarelada de algumas valvas e carapaças, na maioria de formas lisas, causada pelo revolvimento dos sedimentos que permitia a oxidação das mesmas.

Na literatura não foram encontrados dados ambientais específicos sobre as espécies encontradas no biohermito. Entretanto, outras espécies de alguns dos gêneros encontrados, como *Tenedocythere cruciata* e *Aurila cicatricosa* típicas de ambientes de recifes de corais, bem como outras espécies de *Neonesidea* são geralmente encontradas em ambientes infralitorais internos e *Xestoleberis* são acompanhantes em siltes entre complexos de recifes de corais (FARANDA *et al.*, 2008), permitem extrapolar para os táxons do biohermito estas particularidades ecológicas, já que pertencem aos mesmo gêneros e seus ambientes tendem a similaridade.

As interpretações paleoambientais a partir dos elementos da ostracofauna corroboram aquelas obtidas com os foraminíferos, ou seja, ambiente deposicional coralíneo de águas rasas, quentes e com alta energia. A variação na dominância de formas ornamentadas no estágio de estabilização para formas lisas no estágio de diversificação representa a mudança no tipo de substrato de, respectivamente, sedimentos de granulação mais grossa para granulação fina, representados pela lama carbonática.

### 5.2.3 Briozoários

O aspecto mais simples e básico para interpretações geológicas a partir da briozoofauna é a determinação de sua presença ou ausência, que requer apenas um conhecimento básico sobre o que seja um briozoário. A presença não define uma amplitude climática ou latitudinal específica, porém atesta sobre disponibilidade de carbonato de cálcio e conseqüentes caracterizações gerais sobre ambiente gerador de um determinado conjunto de estratos. A dominância, ao contrário, já pode indicar condições ambientais mais específicas. As interpretações a partir da abundância e diversidade específica conjugadas dizem respeito a caracterização de ambientes mais estressantes ou não, devido convergirem para uma mesma interpretação. Convém acrescentar que a abundância e distribuição dos briozoários são também regidas pela disponibilidade de nutrientes, sendo, portanto freqüentes e numerosos em ambientes eutróficos.

A interpretação da ecologia dos briozoários fósseis é predominantemente obtida a partir de estudos das espécies modernas. Para inferências paleoambientais/paleoecológicas os aspectos mais comumente observados e descritos são: presença ou ausência (composição taxonômica), forma e tamanho do zoário e zoécios, plasticidade e tipo de crescimento da colônia, bem como grau de calcificação e polimorfismo. A partir destes dados podem ser realizadas interpretações sobre os principais parâmetros ambientais tais como temperatura, profundidade, salinidade, taxa de sedimentação, nível de energia do meio, substrato e disponibilidade de nutrientes. Os queilostomados são utilizados para estudos em faunas cenozóicas, enquanto os ciclostromados são os elementos usados para as interpretações paleoambientais do Mesozóico. As inferências ambientais das formas paleozóicas, por estarem extintas, são realizadas mediante estudos morfocomparativos com os ciclostromados, grupo mais próximo filogeneticamente (SMITH, 1995).

As formas incrustantes são de longe as mais adaptadas a condições diversas de estabilidade ambiental, sobrevivendo inclusive em linhas de costa. A sua rápida multiplicação deve-se ao fato de não necessitarem de mecanismos mais complexos para garantir sua sobrevivência e estabilidade, pois possuem ilimitado potencial de

crescimento, interrompido apenas quando superfícies rígidas são indisponibilizadas. As lâminas incrustantes adicionam novos zoóides ao longo das margens periféricas contínuas. Normalmente os novos zoóides são adicionados na mesma proporção em toda a margem da colônia, resultando em espalhamentos radiais ou foliares, embora taxas de crescimento variáveis ou a presença de obstruções favoreçam a formação de colônias em forma de faixas (RYLAND, 1970; SMITH, 1995).

Os elementos deste grupo biológico constituem um importante elemento deste ecossistema por serem fixadores do fluxo biogênico inconsolidado, advindo de todos os organismos de carapaça calcária e do sistema como um todo. Sendo responsáveis por esta fixação e também por ser um elemento bioconstrutor, os ectoproctos colaboram para o desenvolvimento do corpo rígido e lenticular. No biohermito estão representados por uma abundância elevada e baixa diversidade específica, aspecto comum nos ecossistemas recifais, e sugerindo que a associação briozoológica está bem preservada em relação a sua composição taxonômica original. Em contraposição às macrocolônias, representadas por *Steginoporella* e *Lunulites*, foram identificados sete táxons de microbriozoários. Os aspectos da sucessão e estabilidade ecológica do bioherma também estão refletidos na assembléia de briozoários, que conta com 711 indivíduos no estágio estabilização, 94 no estágio colonização (curta duração temporal e documentado por uma camada de fina espessura), e 556 no estágio diversificação (Tabela 3).

**Tabela 3 Distribuição das espécies de microbriozoários nos estágios de sucessão ecológica do biohermito.**

<b>Estágio da sucessão ecológica</b>	<b>Estabilização</b>	<b>Colonização</b>	<b>Diversificação</b>
<b>Gênero</b>			
<i>Crisia sp.</i>	33	1	7
<i>Vincularia sp.</i>	13	1	-
<i>Nellia oculata</i>	560	85	522
<i>Bugula sp.</i>	85	7	22
<i>Metrahabdotos sp.</i>	-	-	1
<i>Pasythea tulipifera</i>	16	-	2
<i>Vittaticella elegans</i>	4	-	2
<b>Total</b>	<b>711</b>	<b>94</b>	<b>556</b>

As macrocolônias de *Steginoporella* ocorrem como estruturas modulares onde a proliferação de novos zoóides e tecidos extrazooídais, ocorre lateral e distalmente, formando uma superfície contínua de zoóides ao invés de cadeias zooidais. Estes elementos são muito abundantes no estágio diversificação, e juntamente com as crostas de origem algálica perfazem a estrutura rígida do paleorecife. As cavidades naturais que se formaram nesta malha fusionada, resultante da forma e crescimento irregular dos demais bioconstrutores, favoreceram a ocupação nestes espaços denominados refúgios espaciais, pelas macrocolônias multisseriais de *Lunulites*, bem como todas as microcolônias supracitadas, todas dotadas de esqueleto rígido com ramos delicados, ressaltando que *Crisia* e *Nellia* possuem articulações em seus ramos.

Os briozoários são encontrados normalmente fixos a um substrato firme, pois é neste tipo de substrato que ocorre o assentamento das larvas geradoras das futuras colônias. A considerável variedade de morfologias zoariais sugere a existência de substratos com diferentes graus de estabilidade temporal (sensu SMITH, 1995). As formas eretas unisseriais (por exemplo, *Crisia*, *Nellia* e *Vitaticella*) e multisseriais (tais como *Pasythea*) flexíveis articuladas tipificam substrato rígido temporário (*short-term-lived*), cujas colônias fixavam-se predominantemente em superfícies vivas, tais como algas, hidróides, carapaças com ermitões viventes, crustáceos ou moluscos. As colônias multisseriais fixas por meio de filamentos similares a raízes (por exemplo, *Lunulites*), habitaram preferencialmente substratos arenosos ou rígidos moderadamente estáveis (*moderate-term-lived*), tais como conchas de outros organismos já mortos, blocos rochosos centimétricos ou ainda quaisquer obstáculo físico existente no substrato. Por fim, a morfologia zoarial uniserial de *Vincularia* e multisserial de *Metrarabdotos*, ereta rígida com ramos robustos, caracteriza a existência de substrato rígido indefinidamente estável (*very-long-term-lived*), como blocos rochosos de dimensões métricas e os recifes (MCKINNEY; JACKSON, 1989; SMITH, 1995).

A qualificação do nível de energia do meio pode ser sugerida pela morfologia das formas de crescimento ereto, que possuem ramos robustos ou ramos delicados dotados de articulações, que são mais diversos que os incrustantes. A calcificação frontal e o maior espessamento das porções distais dos zoécios situados nas extremidades zoariais também são feições que caracterizam alta energia do ambiente. O zoário frágil e pouco calcificado do gênero *Crisia*, assim como o zoário multisserial

espesso de *Nellia*, encontrados com frequência no biohermito, não são elementos alóctones, pois possuem articulações entre seus ramos, que favorecem sua vida em ambientes agitados, mais especificamente nas porções mais superficiais dos refúgios espaciais onde viviam. A variedade de morfologias zoariais permite supor que a taxa de sedimentação era baixa a moderada.

O alto grau de fragmentação indica alto nível de energia do ambiente no momento da formação da concentração fossilífera, enquanto que o baixo grau de abrasão nos delicados fragmentos zoariais pode refletir transporte nulo ou muito pequeno. Enquanto isso, as feições de recristalização dos zoários sugerem grande quantidade de líquidos percolantes ricos em  $\text{CaCO}_3$  durante a diagênese oriundo provavelmente de conchas aragoníticas de outros táxons associados a estes.

Reunindo os aspectos acima descritos e o reconhecimento de alta taxa de calcificação dos zoécios estudados permitem supor que a briozoofauna é típica de regiões de águas quentes, tropicais, cuja alta disponibilidade de carbonato de cálcio representa um fator decisivo para a instalação de uma fauna abundante e diversa, que se desenvolveu de maneira eficaz e estável também pela grande disponibilidade nutricional, comum em ambientes marinhos rasos tropicais e, portanto, também eutróficos. As formas eretas levam vantagem em termos de acesso a nutrientes, por estarem mais altas na lâmina d'água e captarem alimentos em suspensão.

As colônias incrustantes também exibem variações em seu modelo de organização, variando de unisserial a multisserial de acordo com a disponibilidade de nutrientes. Os representantes do gênero *Steginoporella*, sempre multisseriais, corroboram a alta disponibilidade de nutrientes no mar de Pirabas.

A briozoofauna encontrada na lotifácies biohermito caracteriza o ambiente como marinho raso, com águas quentes, tropicais, com alta energia, confirmando as interpretações paleoecológicas com base em foraminíferos e ostracodes. A maior representatividade numérica dos gêneros *Crisia*, *Nellia*, *Vitaticella* e *Pasythea* no estágio de estabilização indica a situação inicial da formação da litofácies, com substrato rígido temporário, sendo superfícies vivas. A composição taxonômica original provavelmente está preservada e a baixa diversidade específica e elevada abundância de espécimes corrobora os dados de ambiente recifal.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo da micropaleontologia da litofácies Biohermito da praia do Maçarico, município de Salinópolis, estado do Pará, corroborou com os dados litológicos para a interpretação das condições paleoambientais de formação desse recife fóssil, único reconhecido no Brasil até o momento.

As faunas de foraminíferos, ostracodes e briozoários se apresentam com baixa diversidade genérica e específica, caracterizando uma orictocenose modesta para um ecossistema normalmente rico em associações bióticas resultante da intensa diagênese local que causou a dissolução de muitos espécimes. As associações encontradas para os três grupos são comuns de ecossistemas recifais e o modo de ocorrência das mesmas sugere que representam a composição taxonômica original. Os foraminíferos são mais sensíveis a variações de fatores ambientais como turbidez, salinidade, profundidade, oxigênio, etc., enquanto os ostracodes e os briozoários são mais tolerantes, sendo assim, informações obtidas a partir dessas duas faunas são mais complementares às obtidas a partir de foraminíferos.

As espécies encontradas indicam águas rasas e quentes, em especial a abundância de *Amphistegina lessonii* e a ocorrência de *Paranesidea sp.* ditam ambiente coralíneo com fundos constituídos por algas calcárias, corroborando as caracterizações feitas em estudos anteriores. A alta energia do meio é evidenciada pela ocorrência de espécies de ostracodes com valvas robustas e pelos briozoários com forma de crescimento ereto com ramos robustos ou dotados de articulações, além do alto grau de fragmentação destes e da ocorrência de valvas isoladas de ostracodes. A variedade de morfologias zoariais na associação de briozoários e a coloração amarelada de espécimes dentre os três grupos indicam taxa de sedimentação baixa a moderada e revolvimento dos sedimentos de fundo.

O desenvolvimento do recife foi possibilitado pela transgressão marinha, através da qual houve espaço suficiente para o crescimento vertical do mesmo. Os estágios de sucessão ecológica são caracterizados não só pela mudança litológica, mas também pelo conteúdo fossilífero. Inicialmente, no estágio de estabilização composto por areias calcárias, os gêneros *Crisia*, *Nellia*, *Vittaticella* e *Pasythea* predominavam entre os briozoários, que tipificam substrato rígido temporário (algas, crustáceos, moluscos,

etc.), e entre os ostracodes predominavam as espécies ornamentadas, mais comuns em sedimentos mais grossos; já o último estágio apresentado pelo biohermito, o estágio de diversificação, apresenta sedimentos mais finos, silte e lama carbonática, nos quais predominaram as formas lisas dos ostracodes e entre os foraminíferos houve o aumento no número de espécimes dos gêneros *Quinqueloculina*, *Pyrgo* e *Elphidium*, comuns nesses sedimentos. Quanto a profundidade alcançada, a dominância de *Amphistegina*, que ocorre até profundidades de 50m, no estágio de diversificação corrobora com as informações de que o mar de Pirabas teria alcançado profundidades em torno dessa.

As informações obtidas a partir deste trabalho contribuem com o melhor detalhamento ecológico da litofácies recifal da Formação Pirabas, além de confirmarem dados obtidos em trabalhos anteriores sobre a litofácies e a Formação na qual está inserida.

## REFERÊNCIAS

ACKERMANN, F. L. *Geologia e fisiologia da região Bragantina (Estado do Pará)*. (Cadernos da Amazônia), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2 v, p. 1-90. 1964.

\_\_\_\_\_. *Esboço para a Geologia entre a cidade de Belém - rio Gurupi e Atlântico - rio Guamá*. Belém, Imprensa Universitária, Universidade Federal do Pará, 79p. 1969.

\_\_\_\_\_. *A Formação Pirabas, sua evolução e interpretação*. Belém, Imprensa Universitária, Universidade Federal do Pará, 83p. 1976.

ALMARAZ, J. S. U. *Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, Estado do Pará*. Porto Alegre. 1977. 198f. Tese. (Doutorado em Geociências) - Curso de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1977.

ALMARAZ, J. S. U.; FORMOSO, M. L. F. Contribuição ao ambiente da Formação Pirabas - mineralogia das argilas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 25, São Paulo. *Anais*, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2 v, p. 247-265. 1971.

ARAUJO, H. A. B., MACHADO, A. J.. Benthic Foraminifera associated with the South Bahia Coral Reefs, Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*. 38v. nº1. p. 23-38. 2008.

BATISTA, D. S., VILELA, C. G., KOUTSOUKOS, E. A. M., Influência dos fatores ambientais na preservação da microfauna de foraminíferos bentônicos no ambiente recifal dos Parrachos de Maracajaú, RN, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. V. 30. p.92-103. 2007.

BRAGA, Y. S., MACHADO, A. J., MORAES, S. S., A fauna de Rotallida (Foraminiferida) da borda do recife de Itacimirim, Bahia, Brasil: um estudo comparativo do sedimento e das algas como substrato. *Revista de Geologia*. v. 21. nº 2. p. 147-157. 2008.

BRUNO, R. L. M., ARAUJO, H. A. B, MACHADO, A. J. Análise das assembléias de foraminíferos no sedimento superficial do Recife de Fora, região sul da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*. 39 v. p. 599-607. 2009.

COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; BERMEGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA JR., P. S. *A evolução cenozóica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará*. Geociências (Universidade Estadual de São Paulo), 12 v, p. 373-396. 1993.

DUARTE, L. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. A flórua fóssil da Formação Pirabas. *In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA*, 1, Atas, CNPq, 1 v, p. 145-149. 1967.

\_\_\_\_\_. Paleoflórula. *In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. (Eds.), O Neógeno da Amazônia Oriental*. Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, (Coleção Friederich Katzer), Belém, p. 169-196. 2004.

DUNHAM, R.J. Stratigraphic reef versus ecologic reefs. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 54. p. 1931-1932. 1970.

EMBRY, A.F. & J.E. KLOVAN. A Late Devonian reef tract of northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of the Canadian Petroleum Geologists*. 19v. p. 730-781. 1971.

FARANDA, C., CIPOLLARI, P., COSENTINO, D., GLIOZZI, E., PIPPONZI, G. Late Miocene ostracod assemblages from eastern Mediterranean coral reef complexes (central Crete, Greece). *Revue de micropaleontology*. 51 v. p.287-308. 2008.

FERNANDES, J. M. G. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 35, Rio de Janeiro, *Anais*, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 6 v, p. 2376-2382. 1988.

FERNANDES, J. M. G & TÁVORA, V. A. Estudo dos foraminíferos da Formação Pirabas procedentes do furo CB-UFPA-P1 (85), município de Capanema, Estado do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33, Natal, *Anais*, Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1 v, p. 470-475. 1990.

FERREIRA, C. S. Características litopaleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará. *In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA DAS GUIANAS*, 6v, Belém, *Anais* (Avulsos da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Produção Mineral), Rio de Janeiro, 41 v, p. 101-111. 1966.

\_\_\_\_\_. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), N e NE do Brasil, com as formações Chipola e Tampa da península da Flórida, USA. *In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA*, 1, Buenos Aires, *Atas*, Buenos Aires, Asociación Paleontologica Argentina, 3 v, p. 49-55. 1980.

\_\_\_\_\_. Notas estratigráficas sobre o Cenozóico marinho do Estado do Pará. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 1, Belém, *Anais*, Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1 v, p. 84-88. 1982.

FERREIRA, C. S.; CASSAB, R. C. T. *Implicações faciológicas da família Pectinidae (Mollusca-Bivalvia) da Formação Pirabas, Oligo-Mioceno do norte e nordeste do Brasil*. Ministério de Minas e Energia - DNPM, Série Geologia, Seção Paleontologia e Estratigrafia, Rio de Janeiro, p. 205-209. 1985. (Coletânea de Trabalhos Paleontológicos, 27 v).

FERREIRA, C. S.; CUNHA, O. R. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. Notas sobre a Formação Pirabas, com descrição de novos invertebrados fósseis. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Nova Série, Geologia, 2 v, Belém, p. 1-60. 1957a.

FERREIRA, C. S.; FRANCISCO, B. H. R. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no NE do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 35, Belém, *Anais*, Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2 v, p. 761-764. 1988.

FERREIRA, C. S.; VICALVI, M. A.; MACEDO, A. C. M. Nota sobre a sequência sedimentar ao sul do rio Guamá, Estado do Pará. Evidências do Oligo-Mioceno marinho, através dos resultados preliminares da sondagem feita em Vila Mãe do Rio ("48"), BR-010, Município de Irituia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 53 v (1), p. 208-209. 1981.

FERREIRA PENNA, D. S. *Breve notícia sobre os sambaquis do Pará*. Rio de Janeiro, p. 85-89. 1876. (Arquivos do Museu Nacional, 1 v)

FRANCISCO, B. H.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, A. I.; SILVA, G. G. Contribuição à Geologia da Folha de São Luís (SA-23), no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Nova Série, Geologia, 17 v., Belém, p. 1-40. 1971.

GHILARDI, V. G. *Origem e taxonomia dos ostracodes (Crustacea) da Ilha da Trindade, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2004. 58p.

GÓES, A. M.; ROSSETTI D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 2 v. Belém, p. 3-15. 1990.

JAMES, N.P. Reef Environment. In: P.A. SCHOLLE, D.G. BEBOUT & C.H. MOORE (Eds.), *Carbonate Depositional Environments. The American Association of Petroleum Geologists, Memoir 33*, Tulsa. p. 345-462. 1983.

JAMES, N. P. Reefs. In: R.G. WALKER, (Ed.), *Facies Models*. Geoscience Canadá. p. 229-244. 1984.

JAMES, N. P. & GINSBURG, R. N. *The seaward margin of Belize barrier and atoll reefs*. Special Publications of the International Association of Sedimentology, 3 v. 1979. 191p.

LAND, L. S. & MOORE, C. H. Lithification, micritization and syndepositional diagenesis of bioliths on the Jamaican Island Slope. *Journal of Sedimentary Petrology* 50. p. 357-370. 1980.

MACHADO, A. J., SOUZA, F. B. C. Principais espécies de foraminíferos e briozoários do Atol das Rocas. *Revista Brasileira de Geociências*. 24 v. p. 247-261. 1994.

MARTINS, J. M. G. F. *Paleoecologia e biostratigrafia (Foraminiferida) da Formação Pirabas, Estado do Pará*. (Pós Graduação em Geociências) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1984. 247p.

MAURY, C. J. *Fósseis terciários do Brasil com descrição de novas formas cretáceas*. Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, Rio de Janeiro, 4 v., 1925. 665 p.

MONISMITH, S. G.. Hydrodynamics of coral reefs. *Annual Review of Fluid Mechanics*. v.39. p.37-55. 2007.

MORAES, S., MACHADO, A. Influência do transporte sobre a fauna de foraminíferos recentes da Praia do Forte, Bahia-Brasil. In: IX CONGRESSO LATINOAMERICANO SOBRE CIENCIAS DEL MAR. *Anais*. San Andrés Isla, Colombia. 2001.

McKINNEY, F.K., JACKSON, J.B.C. *Bryozoan Evolution*. The University of Chicago Press, Chicago, 1 edição, 1989. 238p.

MURRAY, J. W. *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical, New York, 1991. 397p.

PETRI, S. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, 216 v (16), São Paulo, p. 1-79. 1957.

PETRI, S. & VIEIRA, E. M. Métodos de estudos paleoecológicos e as assembléias cenozóicas de foraminíferos de Caravelas, Bahia. *Boletim do Instituto de Geociências*, Universidade de São Paulo. 6 v. p. 109-127. 1974.

PINHEIRO, M. P. *Micropaleontologia da Formação Pirabas (Eomioceno) no furo F-NC/18, Nova Canindé, Município de Bragança, Estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. 2006. 53p.

PIOVESAN, E. K. *Ostracodes cretáceos (Turoniano-Maastrichtiano) da Bacia do Pará-Maranhão: Aspectos taxonômicos, paleoecológicos e paleobiogeográficos*. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo.. 2008. 132p

PUFAHL, P. K. & JAMES, N. P. *Monospecific Pliocene oyster buildups, Murray Basin, South Australia: brackish water end member of the reef spectrum*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 233 (1). p. 11-33. 2006.

RIBEIRO, A. S. *Estudo da distribuição vertical da microfauna de foraminíferos do sedimento de subsuperfície da plataforma continental do Complexo Recifal de Abrolhos, Sul da Bahia*. Monografia de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Bahia. 2009. 90 p.

RIDING, R. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews*, 58 v. p. 163-231. 2002.

RYLAND, J.S. *Bryozoans*. Hutchinson University Library, London, 1970. 175p.

SÁEZ, F. O., RODRÍGUEZ-TOVAR, F. J. & ESCAMÉZ, A. T. M. Análisis Ecostratigráfico y Sedimentológico de Materiales del Jurásico Superior Epicontinental en el Sector Oriental del Paleomargen Suribérico (Provincia de Albacete). *Revista de Estudios Albacetenses*. 36 v. p. 5-85. 1995.

SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D. N.; CASTRO, J. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, *Anais*, São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 3, p. 189-202. 1971.

\_\_\_\_\_. 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 v., São José, p. 59-70. 1999.

SMITH, A.M. *Palaeoenvironmental interpretation using bryozoans: a review*. Geological Society of London, Special Publication, 83: 231-243. 1995.

TÁVORA, V. A. *Ostracodes da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) no Estado do Pará, Brasil*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1992.

\_\_\_\_\_. Hemicysteridae, Loxoconchidae, Paradoxostomatidae, Pectocytheridae e Trachyleberididae (Crustacea-Ostracoda) na Formação Pirabas (Eomioceno) – Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Série Ciências da Terra. v. 6 p. 115-138. 1994a.

\_\_\_\_\_. *Ostracodes da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) no estado do Pará*. Acta Geologica Leopoldensia. N°39/1. 17 v. p. 119-129. 1994b.

TÁVORA, V. A. & COELHO, J. R. *Tafonomia de foraminíferos da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará*. Geociências. 25 v., n.2. p. 197-204. São Paulo, UNESP. 2006.

TÁVORA, V. A., FERNANDES, J. M. G. Uma fáunula de briozoários da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) – Estado do Pará. *Acta Geologica Leopoldensia*. N°39/1. v. 17. p. 145-156. 1994.

TINOCO, I. M. *Introdução ao estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes*. Editora Universitária da UFPE. Recife. 220p. 1989.

TSIEN, H. H. Ancient reefs and reef carbonates. *Proceedings of the 4th Coral Reef Symposium*. 1 v. p. 601-609. 1981.

TUCKER, M. E. & WRIGHT, V. P. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 190-227. 1990.

VILLAÇA, R. Recifes Biológicos. *In*: PEREIRA, R. C. & SOARES-GOMES, A. (Org.): *Biologia Marinha*. 2a edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro. p. 399-420. 2009.