



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

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E RECONSTRUÇÃO  
PALEOAMBIENTAL DOS CALCÁRIOS RECIFAIS DA  
FORMAÇÃO TAMBABA, EOCENO DA BACIA DA PARAÍBA,  
BRASIL**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**

**JAIME JOAQUIM DIAS PRATA**

**Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora (IG/UFPA)**

---

**BELÉM**

**2017**



**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E RECONSTRUÇÃO  
PALEOAMBIENTAL DOS CALCÁRIOS RECIFAIS DA FORMAÇÃO  
TAMBABA, EOCENO DA BACIA DA PARAÍBA, BRASIL**

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

**JAIME JOAQUIM DIAS PRATA**

**Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora (IG/UFPA)**

---

**BELÉM – PA**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Prata, Jaime Joaquim Dias 1995-

Geologia, petrografia e reconstrução paleoambiental dos calcários recifais da Formação Tambaba, Eoceno da Bacia da Paraíba, Brasil / Jaime Joaquim Dias Prata. – 2017.

xiv, 76 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Vladimir de Araújo Távora

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2017.

1. Calcário - Paraíba, Rio, Bacia (PI e MA). 2. Geologia estratigráfica - Eoceno. 3. Formações (Geologia). I. Título.

---

CDD 22 ed.: 553.516



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

---

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E RECONSTRUÇÃO  
PALEOAMBIENTAL DOS CALCÁRIOS RECIFAIS DA FORMAÇÃO  
TAMBABA, EOCENO DA BACIA DA PARAÍBA, BRASIL**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**

**JAIME JOAQUIM DIAS PRATA**

**Como requisito para à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia**

Data da Aprovação:    /    /2017

Banca Examinadora:

---

Prof. Vladimir de Araújo Távora - Orientador  
(Dr. em Geologia – UFPA)

---

Prof. José Fernando Pina Assis - Membro  
(M. Sc. em Geologia – UFPA)

---

Maria Inês Feijó Ramos - Membro  
(Dra. em Geociências – Museu Paraense Emílio Goeldi)

*À Célia Maria de Sousa Dias, avó, inspiração, modelo de vida e exemplo de superação, pelo constante estímulo nas decisões pessoais e profissionais, e por sempre me ensinar a ver o lado bom da vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo equilíbrio espiritual durante todos estes anos;

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (IG/UFPA), instituição responsável pela minha formação acadêmica;

Ao Laboratório de Sismoestratigrafia da Universidade Federal de Pernambuco (SISMOS/UFPE), nas pessoas de M. Sc. Osvaldo Correia Filho, Prof. Dr. José Antônio Barbosa e Geólogo Felipe Santana pela parceria e apoio logístico em campo;

Ao meu orientador Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora, do Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Pará (LabPaleo/UFPA), por todos os ensinamentos e oportunidades necessárias para minha qualificação profissional, e parceria nas conquistas acadêmicas;

Ao Prof. Dr. Roberto Vizeu Lima Pinheiro, do Grupo de Geologia Estrutural da Universidade Federal do Pará (GES/UFPA), pelas valiosas contribuições que ajudaram na elaboração desta monografia;

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio de S. Gorayeb, responsável pelo LAPETRO do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do IG/UFPA, por ceder os recursos do laboratório para a execução das imagens que ilustram o item Petrografia;

Ao Técnico M. Sc. Osmar Guedes da Silva Junior do Laboratório de Cartografia Geológica (GEOCART-IG-UFPA), pelo suporte na confecção dos mapas em SIG;

Aos técnicos Joelma de Jesus Lobo e Bruno Fernandes Veras do Laboratório de Laminação do IG/UFPA, pela confecção das lâminas delgadas;

À Lúcia de F. Imbiriba de Sousa, da Biblioteca Setorial do IG/UFPA, pelas correções e auxílios na formatação do texto;

A todos os professores, técnicos e monitores que tive na Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará (FAGEO/UFPA), por todo o aprendizado durante as atividades de campo e laboratório;

Ao Grupo PET Geologia-UFPA, pelas oportunidades valiosas que favoreceram meu crescimento profissional e pessoal;

À minha vó Célia, mãe Glaucia, tias Glaice e Gleice, irmã Nalu e primos João Vitor e João Vinicius pelo constante apoio e carinho;

Ao Yuri Moreira Tembra, pelo amor e parceria, sendo o primeiro a comemorar minhas vitórias e o primeiro a me erguer perante as derrotas;

À Alinne Castro, pela amizade, lealdade e por sempre me mostrar os caminhos independente do quão difíceis eles possam ser;

À Juliana Campbell, pelo constante encorajamento, incentivo e amizade desde meus sete anos;

À Mariana Figueiredo e Camila Cardoso, pela parceria durante os momentos bons e ruins da vida e da graduação;

Aos amigos e colegas adquiridos durante o curso, Tauan Henrique, Lucy Soares, Ariel Negri, Lucas Torres, Beatriz Oliveira, Izabelle Serrão, Daniella Vieira, Jean Bizet e Débora Barroso, que se tornaram um outro núcleo familiar;

Aos amigos Flavia Moraes, Paula Giullia, Hannah Pontes, Isabella Moraes e João Victor, por sempre se manterem presentes.

## RESUMO

Este trabalho trata da caracterização geológica, petrográfica e paleoambiental dos calcários recifais do Eoceno da Formação Tambaba, que afloram ao longo da faixa costeira do município de Conde, a sul da cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba, sob a forma de quatro bioconstruções alongadas e paralelas à linha de costa, denominadas Jacumã-Carapibús, Tabatinga, Coqueirinhos e Tambaba. A partir da classificação litológica macroscópica, padrões geométricos e relações estratigráficas, foram definidos três estágios de acreção recifal, colonização (litofácies *bafflestone*), diversificação (litofácies *framestone*) e domínio (litofácies *bindstone*), que associados às superfícies de superposição recifal (litofácies *boundstone* estratificado) compunham o núcleo do recife, enquanto que a litofácies *rudstone* corresponde aos flancos recifais. O conteúdo biótico macroscópico identificado nestas bioconstruções apresenta baixa qualidade preservacional possivelmente devido à ação de processos diagenéticos (dolomitização e dissolução) e intempéricos, cuja composição taxonômica inclui quatro espécies de corais escleractíneos, duas de bivalvíos, uma de gastrópode, uma de alga rodófitas e uma icnoespécie. O exame petrográfico revelou nove microfácies, nomeadas com base em seus aspectos texturais e composicionais, *dolomudstone* fossilífero nas camadas correspondentes ao núcleo recifal do estágio colonização, *dolowackestone* fossilífero, *dolopackstone* fossilífero, *doloframestone* e *dolobindstone* peloidal no núcleo recifal do estágio diversificação, *dolomudstone* com terrígenos referente às superfícies de superposição recifal, *dolorudstone* e *dolofloatstone* com intraclastos nos depósitos de flancos recifais, e por fim *dolowackestone* peloidal fossilífero no núcleo recifal do estágio domínio. O conteúdo biótico microscópico é representado principalmente por fragmentos de quatro táxons de algas calcárias rodófitas, um táxon de alga clorófitas e outros morfotipos indeterminados, além de poríferos, corais, bivalvíos, gastrópodes e equinóides subordinados, bem como traços fósseis dos tipos pelotas fecais, estruturas de bioturbação e evidências de atividades de fungos e bactérias. A formação das rochas recifais da Formação Tambaba ocorreu em plataforma muito rasa sob condições de baixo influxo de terrígenos durante um pulso transgressivo, no qual a deposição dos espessos níveis de calcários do núcleo recifal e dos níveis delgados de *hardgrounds* equivalentes às superfícies de superposição recifal podem ser equivalentes, respectivamente, a períodos de subsidência e soerguimento do teto de um sistema de hemigráben, cuja instalação dos recifes se deu em uma margem topograficamente mais alta em uma rampa carbonática.

Palavras-chave: Calcários recifais. Formação Tambaba. Eoceno.

## ABSTRACT

This work deals with the geological, petrographic and paleoenvironmental research of carbonate reefs deposits found on Tambaba Formation (Eocene), that occur in a restrict region on the south portion of Paraíba basin along Conde city, Paraíba state, and in elongated bioconstructions which are parallel to the coastal zone, called Jacumã-Carapibús, Tabatinga, Coqueirinhos and Tambaba. Based on macroscopic lithological aspects and geometric and stratigraphic patterns three stages of reef accretion were recognized: colonization (bafflestone lithofacies), diversification (framestone lithofacies) and domination (bindstone lithofacies) associated to the reef superimposed surfaces (stratified boundstone lithofacies) correspond to reef core, while the rudstone lithofacies corresponds to fore reef. The biotic macroscopic content is poorly preserved, possibly due to the diagenetic processes (dolomitization and dissolution) and weathering, including four scleractinian corals, two bivalves, one gastropod, one rhodophyta algae, and an ichnospecie. The petrographic study defined the microfacies fossiliferous dolomudstone on the layers related to the reef core- colonization stage, fossiliferous dolowackestone, fossiliferous dolopackstone, doloframestone and peloidal dolobindstone on the reef core- diversification stage, terrigenous dolomudstone corresponding to reef superimposed surfaces, dolorudstone and dolofloatstone with intraclasts on fore reef deposits, and peloidal fossiliferous dolowackestone on the reef core of domination stage. The allochemical elements are represented by fragments of Rhodophyta and Chlorophyta calcareous algae, porifera, corals, bivalves, gastropods, echinoids and trace fossils. The genesis of this reef system is related to a very shallow platform during a transgressive pulse where the deposition of calcareous levels from the reef core and hardground levels (reef superimposed surfaces) are related to subsidence and uplifting of the hanging wall of a half-graben system.

Key words: Reef limestones. Tambaba Formation. Eocene.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.1- Mapa de localização da Bacia da Paraíba e da área aflorante da Formação Tambaba.....2
- Figura 2.1- Carta estratigráfica para a porção emersa da Bacia da Paraíba.....8
- Figura 2.2- Formas de relevo da unidade de geodiversidade DCT: 1. Falésias ativas (F.A.), plataformas de abrasão (P.A.) e relevos residuais (R.R.); 2, 3. Vegetação e relevos residuais na praia da Tambaba.....13
- Figura 2.3- Desenho esquemático exibindo o deslocamento de blocos associado ao sistema de hemi-gráben e geração de margem topograficamente mais alta no bloco do teto, propícia à formação de recifes orgânicos.....14
- Figura 2.4- Classificação de rochas segundo a classificação de Embry & Klovan (1971) levando-se em conta os critérios texturais e de fábrica.....17
- Figura 2.5- Sub-divisão das zonas topográficas e ecológicas de um recife e sua associação com o tipo de carbonato recifal característico de cada sub-ambiente e a forma de crescimento dos organismos viventes neste ecossistema.....19
- Figura 3.1- Mapa com a distribuição dos corpos recifais estudados e suas exposições mais significativas. Os afloramentos variam de blocos *in situ* e lajedos para os corpos Jacumã-Carapibús, Tabatinga e Coqueirinhos e falésias para o corpo Tambaba.....22
- Figura 3.2- Litofácies *rudstone*: 1. Afloramento do tipo lajedo; 2, 3. *Rudstone* maciço e seixoso sustentado por seixos carbonáticos argilosos com fração granulométrica variável entre seixo médio a muito grosso; 4. *Rudstone* com maior quantidade de matriz e predomínio de grãos na fração areia grossa a seixo fino.....23
- Figura 3.3- Litofácies *bafflestone*: 1. Afloramento do tipo blocos *in situ*; 2. Aspecto ruiforme e irregular com predomínio de matriz carbonática argilosa e baixo conteúdo de bioclastos; 3. Fraturas identificadas.....23
- Figura 3.4- Litofácies *framestone*: 1. Afloramento do tipo bloco *in situ*; 2. Aspecto coquinóide formado por acúmulo de moldes internos e externos de moluscos bivalvíos e gastrópodes; 3. Padrão de fraturamento dos calcários.....24
- Figura 3.5- Macrofósseis identificados na litofácies *framestone*: 1. Esteiras de *Archaeolithothamnion*; 2. Rodólito de *Lithophyllum*; 3. Molde externo de gastrópode; 4. Coral escleractíneo hermatípico; e 5. Galerias de icnofósseis do icnogênero *Ophiomorpha*.....25
- Figura 3.6- Litofácies *boundstone* estratificado: 1, 2, 3. Horizontes delgados, contínuos e estratificados que ocorrem entre as litofácies *framestone*; 4. Desenho

- esquemático mostrando a disposição espacial das litofácies *framestone* e *boundstone* estratificado.....26
- Figura 3.1- Litofácies *bindstone*: 1, 2, 3. Calcários esbranquiçados com granulometria silte a areia fina e presença de laminações cruzadas indiscriminadas; 4. Laminações cruzadas indiscriminadas observadas ao topo das camadas.....27
- Figura 3.2- Perfis geológicos dos corpos recifais estudados: 1. Jacumã-Carapibús; 2. Tabatinga; 3. Coqueirinhos; e 4. Tambaba.....28
- Figura 4.1- Macrofósseis de corais: 1. *Siderastrea conferta* (Duncan, 1863) (MG-7154-I); 2. *SIDERASTREIDAE incertae sedis*; 3. *Caulastraea* sp. (MG-7157-I); e 4. *Flabellum (Flabellum)* sp. (MG-7155-I-B).....34
- Figura 4.2- Macrofósseis de bivalvíos, gastrópode, alga rodófito e icnofóssil: 1. *Barbatia* sp. (MG-7160-I); 2. *Arcinella* sp. (MG-7161-I); 3. *Serratocerithium* sp.; 4. *Lithophyllum* sp.; 5,6. *Ophiomorpha* icnosp.....37
- Figura 5.1 - 1. *Dolomudstone* fossilífero- matriz micrítica (mm) de coloração marrom escura, definido por lama carbonática sem individualização de cristais; 2. *Dolomudstone* fossilífero- mosaicos hipidiotópicos de cristais romboédricos e incolores de dolomita (do); 3. *Dolomudstone* fossilífero- domínios de cimento de óxido/hidróxido de ferro maciço e homogêneo (cf); 4. *Dolomudstone* fossilífero- poros vulgares (pv) e fenestral (pf); 5. *Dolowackestone* fossilífero- intercalação entre matriz micrítica e laminações algálicas; 6. *Dolowackestone* fossilífero- matriz micrítica (mm) neomorfizada para cimento microesparítico (me) e cimento de óxido/hidróxido de ferro provavelmente de origem intempérica (cf).....40
- Figura 5.2 - 1. *Dolowackestone* fossilífero- cristais romboédricos de dolomita (do) definindo textura hipidiotópica equigranular; 2. *Dolowackestone* fossilífero- dedolomitização definida por cristal de dolomita (do) substituída em seu interior por calcita espática (cs); 3. *Dolowackestone* fossilífero- porosidade biológica *boring* (pbo) bifurcada e preenchida por cimento; 4. *Dolowackestone* fossilífero- porosidade biológica *boring* (pbo) preenchida por cimento e com orientação randômica; 5. *Dolopackstone* fossilífero- arcabouço sustentado por fragmentos de fósseis corpóreos mal preservados devido ao intenso processo de cimentação e dolomitização, e matriz micrítica com domínios dolomitizados; 6. *Doloframestone*- matriz biogênica (mb) formada pela atividade de organismos bioconstrutores (algas) maciços com alta quantidade de porosidade primária preenchida por cimento.....42
- Figura 5.3 - 1. *Doloframestone*- poros *growth framework* (pg) associados à morfologia de algas rodófitas preenchidos por cimento carbonático; 2. *Doloframestone*- matriz micrítica biogênica altamente porosa formada pela atividade de organismos bioconstrutores como algas, corais e poríferos; 3. *Dolobindstone*

peloidal- alternância entre laminações algálicas incrustantes peloidais e cimento microesparítico identificado pela coloração esbranquiçada (me), com presença de pequenos poros vulgares subordinados (pv); 4. *Dolobindstone* peloidal- grãos siliciclásticos (si); 5. *Dolomudstone* com terrígenos- alternância entre laminações irregulares e matriz micrítica dolomitizada; 6. *Dolomudstone* com terrígenos- grãos siliciclásticos (si) representados por quartzos monocristalinos subarredondados a arredondados, imersos em domínios intensamente dolomitizados, formados por cristais de dolomita.....44

Figura 5.4 - 1. *Dolorudstone* com intraclastos- matriz dolomitizada (md), intraclasto (it) e poros vulgares (pv); 2. *Dolorudstone* com intraclastos- cristais de dolomita (do) contornando e adentrando-se na estrutura do intraclasto devido a sua dissolução (it); 3. *Dolorudstone* com intraclasto- contato irregular e difuso entre o intraclasto (it) e matriz dolomitizada (md); 4. *Dolofloatstone* com intraclasto- arcabouço sustentado por micrito e presença subordinada de intraclastos (it) e poros vulgares (pv); 5. *Dolowackestone* peloidal fossilífero- arcabouço sustentado por matriz micrítica e presença subordinada de pequenos grãos siliciclásticos (si); 6. *Dolowackestone* peloidal fossilífero- matriz peloidal (mp) com textura grumosa.....48

Figura 5.5 - Constituintes aloquímicos fósseis na microfácies biolitito dolomitizado: Algas rodófitas- 1. Fragmento de esteiras algálicas de *Archaeolithothamnion* sp.; 2,3. Fragmentos de crostas incrustantes micríticas de *Lithophyllum* sp. A; 4,5. Fragmentos de rodóides de *Lithophyllum* sp. B; 6. Fragmento do talo de *Jania* sp.....54

Figura 5.6 - Constituintes aloquímicos fósseis na microfácies biolitito dolomitizado: Algas rodófitas- 1. Fragmento do talo de *Jania* sp.; 2. Fragmento de uma seção longitudinal do morfotipo definido por seções longitudinais de células reticuladas dispostas em laminações paralelas; 3. Fragmento de alga vermelha com estrutura *honeycomb*; 4. Fragmento de alga vermelha com textura *boxwork*; Algas clorófitas- 5,6- Fragmentos de talos de *Halimeda* sp. envolvidos por envelopes micríticos.....56

Figura 5.7 - Constituintes aloquímicos fósseis na microfácies biolitito dolomitizado: 1. Porífero *incertae sedis*; 2- Coral; 3- Fragmento septal e sulcos interseptais de um coral; 4,5- Gastrópode; 6- Biválvio.....58

Figura 5.8 - Constituintes aloquímicos fósseis: 1- Biválvio; 2- Seção transversal circular de um espinho de equinóide; 3- Seção longitudinal de um espinho de equinóide; 4- Placa esquelética isolada de equinóide.....59

Figura 5.9 - Constituintes aloquímicos fósseis: 1. Pelotas fecais: grãos ovais a circulares sem estruturação interna (microfácies biopelmicrito dolomitizado); 2,3. Microtubos: estruturas alongadas com terminações irregulares e preenchidos por infiltração

de lama carbonática (microfácies pelbiomicrito dolomitizado); 4. Atividade de fungos e bactérias (microfácies biolitito dolomitizado).....60

Figura 6.1- Mapa estrutural com a disposição das estruturas tectônicas (falhas normais e de transferência) fotointerpretadas a partir de dados bibliográficos e imagens digitais, e suas relações com os corpos recifais Jacumã-Carapibús, Tabatinga, Coqueirinhos e Tambaba.....63

Figura 6.2- Bloco diagrama esquemático da reconstrução paleoambiental do sistema de recifes em franja, com a disposição dos corpos recifais, alinhados segundo a trama N-S, e desenvolvidos em uma rampa carbonática com margem topograficamente mais alta.....65

## SUMÁRIO

|                                             |      |
|---------------------------------------------|------|
| <b>DEDICATÓRIA</b> .....                    | iv   |
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....                 | v    |
| <b>RESUMO</b> .....                         | vii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                       | viii |
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....           | ix   |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                   | 1    |
| 1.1 OBJETIVOS .....                         | 3    |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....             | 3    |
| 1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....                | 3    |
| 1.3.1 Reunião de dados bibliográficos ..... | 3    |
| 1.3.2 Atividades de campo .....             | 4    |
| 1.3.3 Atividades de laboratório .....       | 4    |
| <b>2 GEOLOGIA</b> .....                     | 7    |
| 2.1 BACIA DA PARAÍBA .....                  | 7    |
| 2.2 FORMAÇÃO TAMBABA.....                   | 11   |
| 2.3 TECTÔNICA EXTENSIONAL E RECIFES .....   | 13   |
| <b>3 LITOFÁCIES</b> .....                   | 21   |
| 3.1 RUDSTONE .....                          | 21   |
| 3.2 BAFFLESTONE.....                        | 21   |
| 3.3 FRAMESTONE.....                         | 24   |
| 3.4 BOUNDSTONE ESTRATIFICADO .....          | 25   |
| 3.5 BINDSTONE.....                          | 26   |
| 3.6 CONTEXTUALIZAÇÃO .....                  | 27   |
| <b>4 SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA</b> .....   | 29   |
| <b>5 PETROGRAFIA</b> .....                  | 38   |
| 5.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA .....              | 38   |
| 5.1.1 Estágio Colonização .....             | 38   |
| 5.1.2 Estágio Diversificação .....          | 40   |
| 5.1.3 Estágio Domínio .....                 | 48   |

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 5.2 FÓSSEIS.....                                | 49 |
| 5.2.1 Algas Calcáreas .....                     | 50 |
| 5.2.2 Poríferos .....                           | 54 |
| 5.2.3 Corais.....                               | 55 |
| 5.2.4 Moluscos .....                            | 56 |
| 5.2.5 Equinóides .....                          | 56 |
| 5.2.6 Traços Fósseis.....                       | 58 |
| 6 TECTÔNICA E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL ..... | 61 |
| 7 CONCLUSÕES.....                               | 65 |
| REFERÊNCIAS .....                               | 68 |
| APÊNDICE.....                                   | 74 |
| APÊNDICE A- CODIFICAÇÃO DE LÂMINAS .....        | 75 |

## 1 INTRODUÇÃO

A Formação Tambaba (Correia Filho *et al.* 2015) é a unidade litoestratigráfica da Bacia da Paraíba que sucede a sequência deposicional regressiva correlacionável com as reconhecidas nas demais bacias costeiras do Brasil, ainda que sem o registro dos evaporitos da fase proto-oceânica e a espessa seção clástica da fase marinha franca (Córdoba *et al.* 2007). Sendo composta por rochas carbonáticas depositadas em ambiente marinho recifal, é aflorante ao longo da faixa costeira a sul da cidade de João Pessoa/PB, nas sub-bacias Alhandra e Miriri, entre a sequência carbonática de idade Campaniano-Daniano (formações Itamaracá, Gramame e Maria Farinha) e a sequência siliciclástica continental de idade Mioceno-Holoceno, que inclui a Formação Barreiras e as coberturas quaternárias (Figura 1.1).

Estes depósitos foram inicialmente referidos por Beurlen (1967a) como “Formação Maria Farinha Superior”, correlacionados aos calcários do Paleoceno da Formação Maria Farinha que ocorrem ao longo da região sul da faixa costeira, na Sub-Bacia Olinda (Figura 1.1), a partir da presença de fósseis indicativos de idade pós-cretácea em ambos os depósitos, visto que são sotopostos discordantemente pelos carbonatos do Maastrichtiano da Formação Gramame (Beurlen, 1967a; Costa *et al.* 2001).

Posteriormente, Almeida (2000, 2007) realizou um estudo sistemático, paleoambiental e biocronológico da malacofauna e icnofósseis identificados nestes calcários, sugerindo possível idade eocênica, sem entretanto sugerir tratar-se de um conjunto distinto que não guardasse identidade com a Formação Maria Farinha classicamente descrita.

Correia Filho *et al.* (2015) apresentaram uma proposta de formalização da seção carbonática informalmente considerada Formação Maria Farinha Superior, como uma unidade litoestratigráfica distinta, denominando-a Formação Tambaba. Além da formalização, os autores abordaram nesta pesquisa os seus aspectos microfaciológicos, estratigráficos e estruturais.

O escopo da presente pesquisa é a caracterização geológica e paleontológica em escala de detalhe dos calcários recifais do Eoceno da Formação Tambaba, com definição de litofácies, microfácies e conteúdo paleontológico, bem como apresentar considerações a respeito da gênese, desenvolvimento e sucessão ecológica do paleoecossistema recifal em epígrafe.

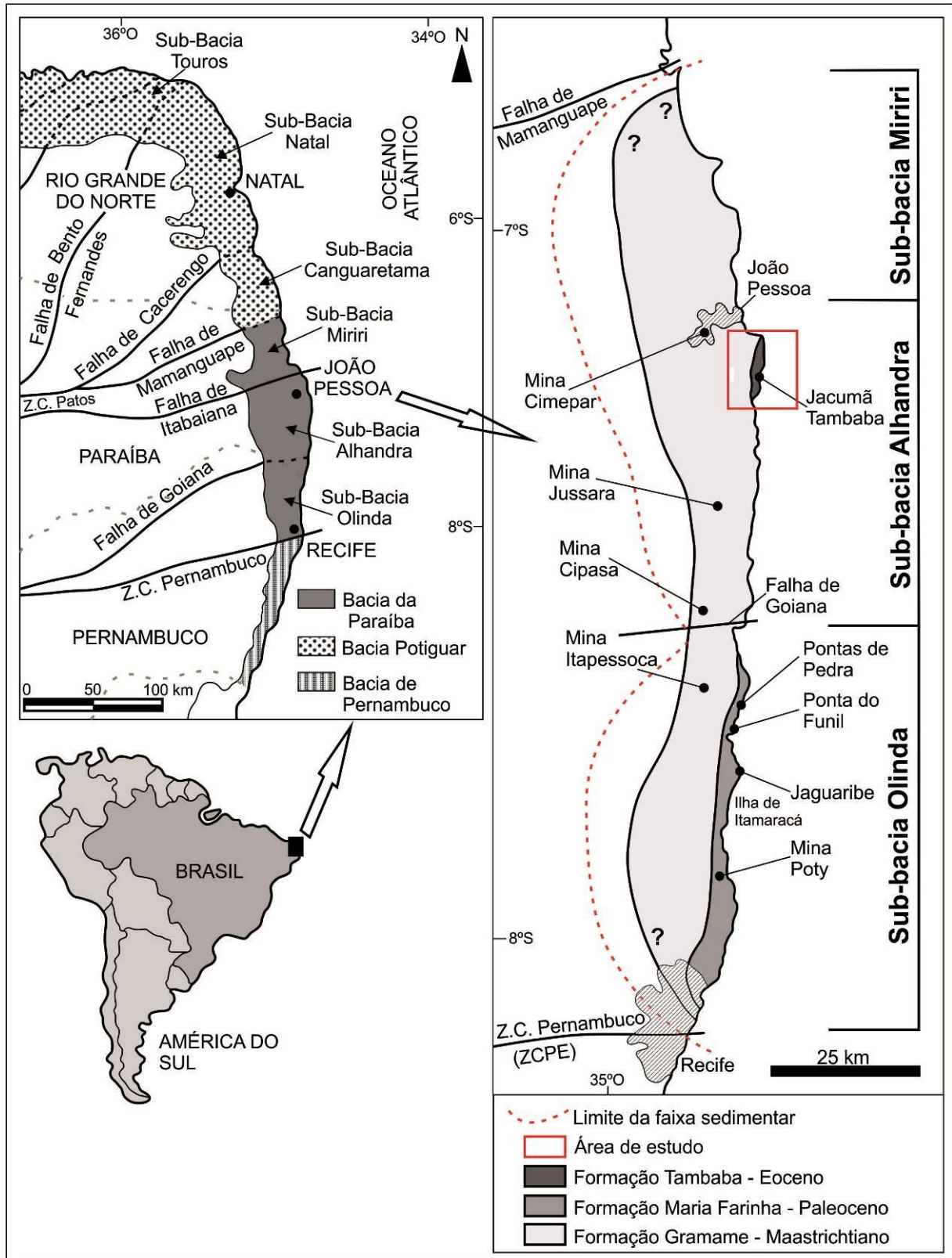


Figura 1.1- Mapa de localização da Bacia da Paraíba e da área aflorante da Formação Tambaba, alvo deste trabalho.

Fonte: Modificado de Barbosa *et al.* (2006).

## 1.1 OBJETIVOS

Os recifes apresentam uma sucessão vertical de lito e biofácies ao longo de seu desenvolvimento, limitando estágios genéticos contínuos que possuem peculiaridades geodiversas e ocupados por elementos bióticos distintos. A definição da sua sucessão ecológica, levando-se em conta também os aspectos geométricos, permite o entendimento sobre sua implantação e desenvolvimento.

Esta pesquisa tem como objetivo principal elucidar, no maior grau de detalhe possível, o contexto geológico e paleoambiental que favoreceu o estabelecimento e crescimento dos corpos recifais que delimitam a Formação Tambaba, visando entender mais amiúde o arranjo litofaciológico e das respectivas associações fossilíferas, bem como definir a sua sucessão ecológica a partir das pesquisas anteriores efetivadas por Almeida (2000) e Correia Filho *et al.* (2015).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo supradescrito, este trabalho incluiu etapas distintas, que podem ser consideradas como objetivos específicos e fundamentais, a saber:

- a) Mapeamento geopaleontológico para identificar, descrever e interpretar as feições geológicas e paleontológicas;
- b) Caracterizar a sistemática do conteúdo paleontológico;
- c) Estudar petrograficamente as diferentes litofácies definidas em campo com individualização de microfácies carbonáticas;
- e) Interpretar os aspectos geodiversos (relação espacial, contexto estrutural e estratigráfico) e biodiversos dos corpos recifais e sua respectiva sucessão ecológica;

## 1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.3.1 Reunião de dados bibliográficos

Esta etapa tratou de uma ampla pesquisa bibliográfica crítica do conhecimento científico já existente sobre a geologia das rochas da Formação Tambaba no contexto da Bacia da Paraíba (Beurlen, 1967a; Almeida, 2000, 2007; Barbosa *et al.* 2006; Correia Filho *et al.* 2015). Para o domínio teórico sobre os aspectos relacionados com gênese, distribuição e sucessão ecológica de recifes do intervalo Cretáceo Superior ao Cenozoico, foram utilizadas

as contribuições de Davis Jr. (1983), James (1983), Tucker & Wright (1990), Riding (2002), Flügel (2010), Távora *et al.* (2013) e Al-Kahtany (2017), além de variada bibliografia complementar específica como Leeder & Gawthorpe (1987), Feijó (1994), Córdoba *et al.* (2007) e Pfaltzgraff *et al.* (2016).

### 1.3.2 Atividades de campo

O levantamento básico de dados para esta pesquisa foi obtido mediante um trabalho de campo ao longo da faixa costeira entre as praias de Jacumã e Tambaba no município de Conde, estado da Paraíba (07° 21' 51" S, 34° 47' 52" W), realizado entre os dias 26 e 29 de setembro de 2016. Este trabalho corresponde a uma parceria entre o Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Pará (LabPaleo/UFPa) e o Laboratório de Sismoestratigrafia da Universidade Federal de Pernambuco (SISMOS/UFPE), cuja logística ficou a cargo da equipe pernambucana.

O protocolo padrão adotado nesta etapa incluiu identificação da natureza dos afloramentos, sua localização em *PADs* e dimensões horizontal e vertical; descrição das litofácies (Embry & Klovan, 1971) e estabelecimento de suas relações estratigráficas; identificação e descrição do conteúdo fossilífero; coleta de amostras para análises macro e microscópicas em laboratório; elaboração de perfis geológicos com informações registradas sob a forma de desenhos e esboços; e registro fotográfico das feições geopaleontológicas mais representativas, com indicação dos locais de coleta de amostras.

Os equipamentos utilizados nesta etapa foram receptores de GPS marca Garmin, *PAD* do IBGE marca LG, bússola de geólogo *Brunton*, binóculo e câmera fotográfica. Também foi incluso um mapa base elaborado segundo o sistema de Projeção Cartográfica Transverso de Mercator (UTM) e o DATUM SIRGAS 2000, auxiliado pelas ferramentas *Google Earth PRO* e *ArcMap 10.3*, além de caderneta, prancheta, lupa de bolso, trenas de curta e longa metragem, canivete, ácido clorídrico diluído, martelo petrográfico, martelo estratigráfico, marreta, talhadeira e óculos de proteção. Para coleta de amostras foram utilizados sacos para amostragem, fita adesiva, marcadores e caixas para amostras.

### 1.3.3 Atividades de laboratório

A etapa de laboratório foi desenvolvida principalmente no Laboratório de Paleontologia da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará, com atividades interligadas e consecutivas, como a elaboração do mapa geológico e de localização da área de

estudo a partir do mapa base utilizado na etapa de campo. Foi realizada também a produção e digitalização de perfis estratigráficos, reconstruções dos corpos recifais e blocos diagramas com a utilização do *CorelDRAW X7* e *Adobe Photoshop CS6*.

A classificação sistemática dos somatofósseis macroscópicos foi feita com auxílio de estereomicroscópio. Para os corais foram adotados Wells (1956) e Baron-Szabo (2008); Cox *et al.* (1971) para os bivalvíos; Wenz (1938), Mayr *et al.* (1953) e White (1887) para o gastrópode; Guiry & Guiry (2017) para as algas; e Fernandes *et al.* (2002) para o icnofóssil.

Com base nos perfis estratigráficos preliminares e a classificação das rochas em campo, foram confeccionadas 42 lâminas delgadas no Laboratório de Laminação do IG/UFPA representativas de todos os níveis estratigráficos individualizados, além da reanálise de outras oito lâminas examinadas previamente por O. J. Correia Filho na pesquisa que culminou com a proposição da unidade Formação Tambaba (Correia Filho *et al.* 2015). A análise petrográfica foi realizada em microscópio petrográfico AXIO Scope 1 no Laboratório de Petrografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, enquanto seu registro fotográfico foi obtido no LAPETRO do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, mediante o *software* LEICA *Application Suite V 4.6* acoplado ao microscópio LEICA DM 2700 P.

Todas as lâminas estão catalogadas na coleção do SISMOS/UFPE como parte de uma contrapartida acertada previamente. A codificação geral das lâminas petrográficas (Apêndice I) é EX-CY-Z (E- estágio; X- estágio de acreção recifal, sendo C- colonização, DI- diversificação, DO- domínio; C- corpo recifal; Y- nome do corpo recifal, sendo J- Jacumã-Carapibus, T- Tabatinga, CQ- Coqueirinhos e TB- Tambaba; Z- número de amostra laminada).

As microfácies carbonáticas foram individualizadas e classificadas com base nas propostas de Embry & Klovan (1971) para os aspectos texturais, e Folk (1974) para os aspectos composicionais. A descrição dos constituintes deposicionais e diagenéticos foi feita com base em Flügel (2010), enquanto que para a nomenclatura morfológica e classificação dos constituintes aloquímicos utilizou-se principalmente as propostas de Wray (1977) para as algas calcáreas e Scholle & Ulmer-Scholle (2003) para os demais fósseis microscópicos associados.

A partir dos dados levantados todas as interpretações pertinentes foram definidas compondo dados inéditos para os estratos da Formação Tambaba, que tem nesta pesquisa o primeiro estudo detalhado. A normatização do corpo deste trabalho, bem como das referências bibliográficas, foi baseada no documento “*Normas para editoração de dissertações e teses do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica-PPGG*”, de Cohen *et al.* (2016) disponibilizado pela Universidade Federal do Pará.

## 2 GEOLOGIA

### 2.1 BACIA DA PARAÍBA

A Bacia da Paraíba (Fig. 1.1) ocorre no nordeste brasileiro, ocupando uma área continental com cerca de 7600 km<sup>2</sup> e mais 31400 km<sup>2</sup> de área oceânica ao longo da plataforma continental, estando confinada à área situada entre duas zonas de cisalhamento que delimitam a Zona Transversal do Nordeste (ZTN) e a Plataforma de Natal (Barbosa *et al.* 2007; Nascimento-Silva *et al.* 2011). É composta por unidades litoestratigráficas cretáceas e terciárias, bem como por conjuntos aloestratigráficos quaternários de origem marinha, eólica e fluvial (Lima *et al.* 2016).

De acordo com Lima *et al.* (2016), entre o Cretáceo e o Quaternário a evolução tectonossedimentar e geomorfológica desta bacia foi marcada por eventos de reativação tectônica de lineamentos pré-cambrianos durante a fase pós-rifte, e desenvolvimento de novos sistemas de *horsts* e grabens, com direção geral E-W a ENE-WSW, denominados sistema tafrogênico terciário por Brito-Neves *et al.* (2004) e tectônica em teclas por Fortes (1986).

A história deposicional destas rochas começa com a Formação Beberibe, seguida pelas unidades Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Tambaba, acumuladas em uma rampa carbonática distal (Nascimento-Silva *et al.* 2011). Posteriormente tem-se a gênese das rochas siliciclásticas da Formação Barreiras e sedimentos pós-barreiras do Quaternário (Fig. 2.1).

A Formação Beberibe consiste em depósitos de arenitos continentais médio a grossos, localmente conglomeráticos, típicos de depósitos fluviais (*braided*), planície de inundação e fluvio-lacustre (Barbosa *et al.* 2007). Os mapas de isópacas apresentados por Barbosa *et al.* (2007) mostraram que esta formação está restrita à Bacia da Paraíba, sendo que a deposição foi truncada a sul pela ZCPE (Zona de Cisalhamento Pernambuco), e a norte pelo Alto de Mamanguape, que separa a Bacia da Paraíba das sub-bacias Canguaretama e Natal. Duas grandes cunhas se formaram na Sub-bacia Olinda, onde essa formação possui maior espessura em situação oblíqua à margem, progradando dos flancos para o centro. Na Sub-bacia Alhandra-Miriri, a deposição é menos expressiva, havendo um acúmulo mais importante em forma de cunha no depocentro da região de João Pessoa (Barbosa *et al.* 2007).

Na região de Itamaracá, a Formação Beberibe atinge cerca de 200 metros de espessura neste depocentro, e mais ao norte preenche de forma mais regular o fundo da Sub-Bacia Alhandra-Miriri. O Gráben de Itamaracá é completamente preenchido pela Formação

Beberibe, o que sugere que esta depressão já existia desde a formação da bacia costeira, assim como também foi sugerido por Amaral *et al.* (1977). Estes resultados mostram que a deposição continental inicial foi mais importante na porção sul da Bacia da Paraíba.

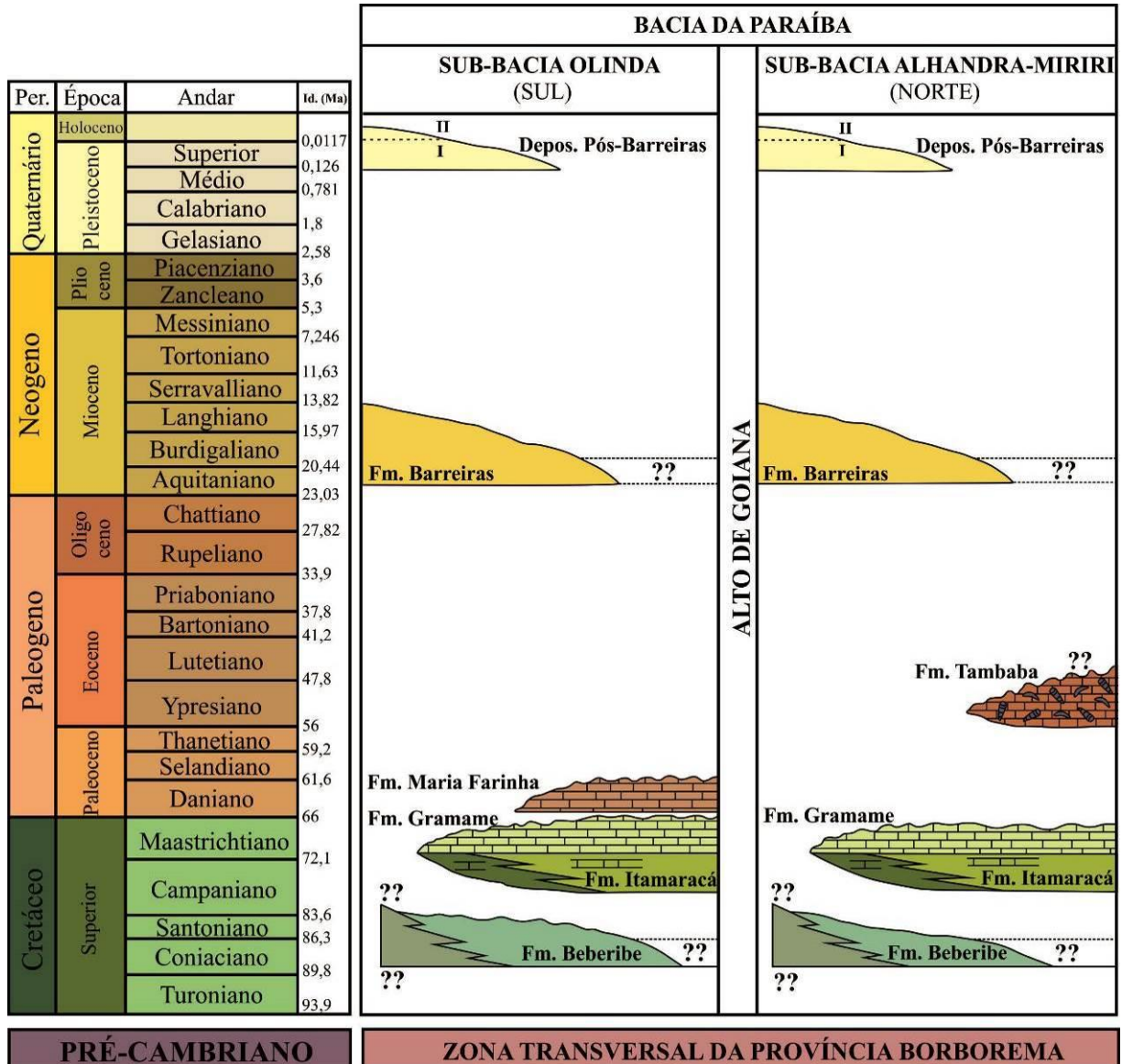


Figura 2.1- Carta estratigráfica para a porção emersa da Bacia da Paraíba, exibindo as unidades litoestratigráficas características das sub-bacias Olinda e Alhandra-Miriri, separadas pelo Alto de Goiana.

Fonte: Modificado de Almeida (2000), Barbosa *et al.* (2006), Rossetti *et al.* (2011, 2012) e Correia Filho *et al.* (2015).

A Formação Itamaracá é uma unidade que representa uma rápida fase de transição do domínio continental para o domínio marinho transicional, composta litologicamente por calcários siliciclásticos, mistos e com fácies bioelementares, incluindo arenitos calcíferos fosfáticos, folhelhos, calcáriosossilíferos, margas e fosforitos, depositados em ambientes mistos, desde lagunas costeiras estuarinas até planícies praias. Estes fosforitos estão restritos à porção mais superior do pacote Itamaracá, e definem uma superfície de inundação máxima,

que separa os tratos de sistema transgressivo e de mar alto. O conteúdo fossilífero desta formação inclui corais, bivalvíos, gastrópodes, cefalópodes, poliquetas, equinóides, peixes, répteis, foraminíferos, coprólitos e plantas, que atestam idade Campaniano-Maastrichtiano Inferior (Moura, 2007; Nascimento-Silva *et al.* 2011; Silva, 2014).

A Formação Gramame (Oliveira, 1940) é uma unidade carbonática de domínio marinho, e ocorre sobre a Formação Itamaracá. Esta unidade foi, provavelmente, depositada a partir do final do Campaniano, já que suas camadas começam sempre acima dos últimos níveis de fosfato, e prosseguem durante todo o Maastrichtiano. A idade da Formação Gramame foi atribuída inicialmente por Maury (1930) como campaniana, e mais tarde foi considerada do Maastrichtiano por Beurlen (1967a). Ambos os autores basearam-se na ocorrência de cefalópodes (*Pachydiscus* e *Sphenodiscus*), ainda que a ocorrência de fósseis invertebrados situe a idade da base dos sedimentos Gramame entre o Campaniano Superior e o Maastrichtiano Inferior (Muniz, 1993).

Estudos foraminiferológicos realizados por Tinoco (1967,1971) na seção carbonática da Sub-bacia Olinda sugeriram que a sucessão de estratos carbonáticos das formações Gramame (Maastrichtiano) e Maria Farinha (Daniano) é muito semelhante às seções de mesma idade nas regiões do Caribe e América do Norte, porém é possível considerar que o início da deposição da Formação Gramame aconteceu já no intervalo Campaniano Superior-Maastrichtiano Inferior. Maury (1930) descreveu grande parte dos fósseis, sendo predominantemente moluscos, procedentes dos afloramentos existentes na margem direita do rio Gramame e pedreiras na região de João Pessoa/PB, onde também afloram as camadas de arenito calcífero do topo da Formação Itamaracá e calcários ricamente fossilíferos da base da Formação Gramame, considerados por Lima & Koutsoukos (2002) como do intervalo Maastrichtiano Médio a Inferior.

A Formação Maria Farinha possui uma grande variabilidade litológica, caracterizando-se por uma seqüência de calcários fossilíferos detríticos com estratificação plano paralela, cujos padrões de distribuição e geometria são complexos devido aos eventos tectônicos ocorridos na Bacia da Paraíba a partir do final do Cretáceo e, principalmente, durante o Paleógeno (Barbosa *et al.* 2006). O perfil consiste basicamente em duas seções: a inferior, de menor espessura, constituída por um calcário com fósseis relativamente raros, esparsamente distribuídos, sem acumulações locais; e a superior, mais espessa, com calcários detríticos finos e puros, passando para calcários dolomitizados e detríticos argilosos com intercalações

de camadas de argila calcífera de espessura reduzida (0,10 m a 0,25 m), e recifes fósseis (Beurlen, 1967a; Beurlen, 1967b).

A sequência de rochas da Formação Maria Farinha se identifica com uma fase regressiva do mar após a transgressão gramame (Beurlen, 1959; Muniz, 1993), típica de oscilações com nível de energia alternado. O seu contato com a Formação Gramame é marcado por uma discordância erosiva definida por uma sequência carbonática com intraclastos, tipicamente associada com a transição Cretáceo-Paleógeno (Nascimento-Silva *et al.* 2011). Segundo Feijó (1994), a Formação Maria Farinha é interdigitada com a Formação Calumbi, e juntamente com as formações Gramame e Beberibe, constitui um ciclo transgressivo-regressivo, com transgressão acelerada, seguida de um relativo período estável, e finalizado por uma demorada regressão (Gallo *et al.* 2001).

Nesta unidade litoestratigráfica os fósseis mostram as mesmas alterações rápidas que o caráter litológico. Há leitos estéreis e outros ricos em fósseis, bem como acumulações locais de conchas e leitos com abundância de fósseis em homogênea distribuição, sendo abundantes os moluscos e crustáceos. White (1887) e Maury (1924, 1930) descreveram o maior número de fósseis desta unidade. Os demais elementos fossilíferos desta formação foram descritos por Fernandes (1978, 1984, corais) e Távora *et al.* (2016, corais), Buge & Muniz (1974, briozoários), Penna-Neme & Muniz (1976, escafópodes), Oliveira (1953, nautilóides), Tinoco (1963, esclerodermis de holoturóides e placas de equinóides), Muniz & Ramirez (1977, icnofósseis), Tinoco (1977, foraminíferos) e Dolianiti (1955, vegetais).

Os fósseis mais característicos da Formação Maria Farinha são os nautilóides *Cimonia pernambucensis* e *Hercoglossa lamegoi*, bem como o gastrópode *Campanile buarquianus*, e o crustáceo *Callianassa*. A referida unidade litoestratigráfica é do Paleoceno e representa um paleoambiente costeiro raso com variadas condições ecológicas, refletindo provavelmente movimentos oscilatórios da linha de costa (Beurlen, 1967a). A idade atribuída foi baseada inicialmente em estudos geológicos e paleontológicos na localidade de Olinda, realizados por Oliveira & Ramos (1956), onde foram levantadas detalhadas seções estratigráficas da formação, que foi então correlacionada ao Grupo Midway, da América do Norte, e à Formação Soldado Rock de Trinidad, ambas de mesma idade, posteriormente confirmada por estudos subsequentes.

Os calcários recifais aflorantes na região costeira do Estado da Paraíba eram atribuídos com reservas à Formação Maria Farinha, em razão de apresentar litofaciologia, paleofauna e

correspondente ambiental deposicional distintos das características observadas nas seções de superfície e subsuperfície. O contexto distinto e peculiar desta seção tem sido muito discutido ao longo do tempo, e estas rochas eram tratadas informalmente do ponto de vista estratigráfico como Formação Maria Farinha Superior (Beurlen 1967a; 1967b; Oliveira, 1978; Almeida, 1989; Almeida, 2000; Barbosa *et al.* 2006).

A Formação Barreiras é composta por conglomerados, arenitos e pelitos pouco consolidados de coloração variada, dispostos em falésias junto ao mar ao longo da costa, e depositados por fluxos de massa compondo leques aluviais e processos fluviais (Lima *et al.* 2016).

Os depósitos atribuídos à unidade Pós-Barreiras na Bacia da Paraíba são compostos por clásticos finos a médios, maciços, imaturos, de coloração variada, inconsolidados a localmente endurecidos, dispostos junto ao mar e ao longo dos cursos d'água, e depositados pela ação das marés e processos fluviais modernos. Localmente preenchem depressões e reentrâncias na Formação Barreiras, e eventualmente avançam em áreas onde esta unidade se acha topograficamente mais elevada (Lima *et al.* 2016).

## 2.2 FORMAÇÃO TAMBABA

Com base nos aspectos litofaciológicos, paleontológicos, biocronológicos e deposicionais, bem como todos os outros requisitos necessários para formalização de unidades litoestratigráficas, Correia Filho *et al.* (2015) propuseram a individualização dos depósitos carbonáticos nomeados informalmente de Formação Maria Farinha Superior (Beurlen, 1967a) como Formação Tambaba. Estes depósitos, localmente acamadados, com aspecto coquinóide e ruiforme, estão expostos nas sub-bacias de Alhandra e Miriri, no norte da Bacia do Paraíba, ao longo das faixas de praias e intermarés, entre as praias de Jacumã e Tambaba, a cerca de 15 km ao sul da cidade de João Pessoa (Beurlen, 1967a, Costa *et al.* 2001; Almeida, 2000, 2007).

A sua separação da Formação Maria Farinha clássica se dá por um limite de sequencias, cuja deposição deve ter acontecido durante um evento transgressivo influenciado por baixas taxas de sedimentação durante o Eoceno, e que se sobrepôs à superfície erosiva formada durante a regressão forçada anterior (limite de sequencia ligado à regressão do Paleoceno). Os seus aspectos gerais sugerem deposição relacionada a um período de formação de sistemas costeiros restritos, especificamente em plataforma rasa e restrita com baixa taxa

de sedimentação, durante um evento de transgressão de menor magnitude, com recobrimento da superfície erosiva subjacente (Correia Filho *et al.* 2015).

Do ponto de vista espacial, os calcários recifais da Formação Tambaba estão sobrepostos aos depósitos do Maastrichtiano da Formação Gramame, uma vez que durante a regressão forçada no Daniano os registros da Formação Maria Farinha não foram preservados na porção norte da bacia. O seu limite superior é marcado pelos depósitos siliciclásticos miocênicos continentais da Formação Barreiras e coberturas sedimentares recentes (Barbosa, 2004; Barbosa *et al.* 2006; Correia Filho *et al.* 2015).

Nesta unidade litoestratigráfica, observa-se uma alternância entre camadas intercaladas de construções recifais algálicas, e níveis de moldes e contramoldes de bivalvíos e gastrópodes. As litofácies calcissiltito com laminação plano-paralela e cruzada, calcarenito com moldes de bivalvíos e gastrópodes, calcilutito com estrutura de crescimento algálica laminar e calcirrudito maciço, com matriz recristalizada e moldes de bivalvíos foram relacionadas por Correia Filho *et al.* (2015), respectivamente, a ambientes praial, inter-recifal a lagunar, lagunar restrito e lagunar um pouco mais profundo.

Petrograficamente foram caracterizadas as microfácies doloesparito à bioclasto e intraesparito e rudstone à bioclasto, formadas provavelmente em sistemas de núcleos recifais, recifes de franjas, praias e lagunas restritas, com acúmulo de sedimentos e bioclastos em zonas inter-recifais, e escasso aporte de siliciclásticos oriundos do continente (Correia Filho *et al.* 2015).

Almeida (2000, 2007) caracterizou a composição taxonômica e paleoecologia de sua malacofauna e coralinoфаuna com muitas espécies similares aos da unidade Maria Farinha, também caracterizando a intensa trama icnofossilífera de organismos raspadores e perfuradores de *hardgrounds*.

Segundo Pfaltzgraff *et al.* (2016) a Formação Tambaba está incluída no Domínio Geológico-Ambiental dos Sedimentos Cenozoicos pouco a moderadamente consolidados associados a tabuleiros (DCT), e unidade de geodiversidade de mesmo nome. Nesta região destacam-se as falésias ativas e plataformas de abrasão esculpidas em rochas da Formação Barreiras, com até 35 metros de altura, associadas com degraus estruturais e *rebounds* erosivos (relevos residuais ou leixões com aspecto ruiniforme e irregular) da Formação Tambaba (Figura 2.2).

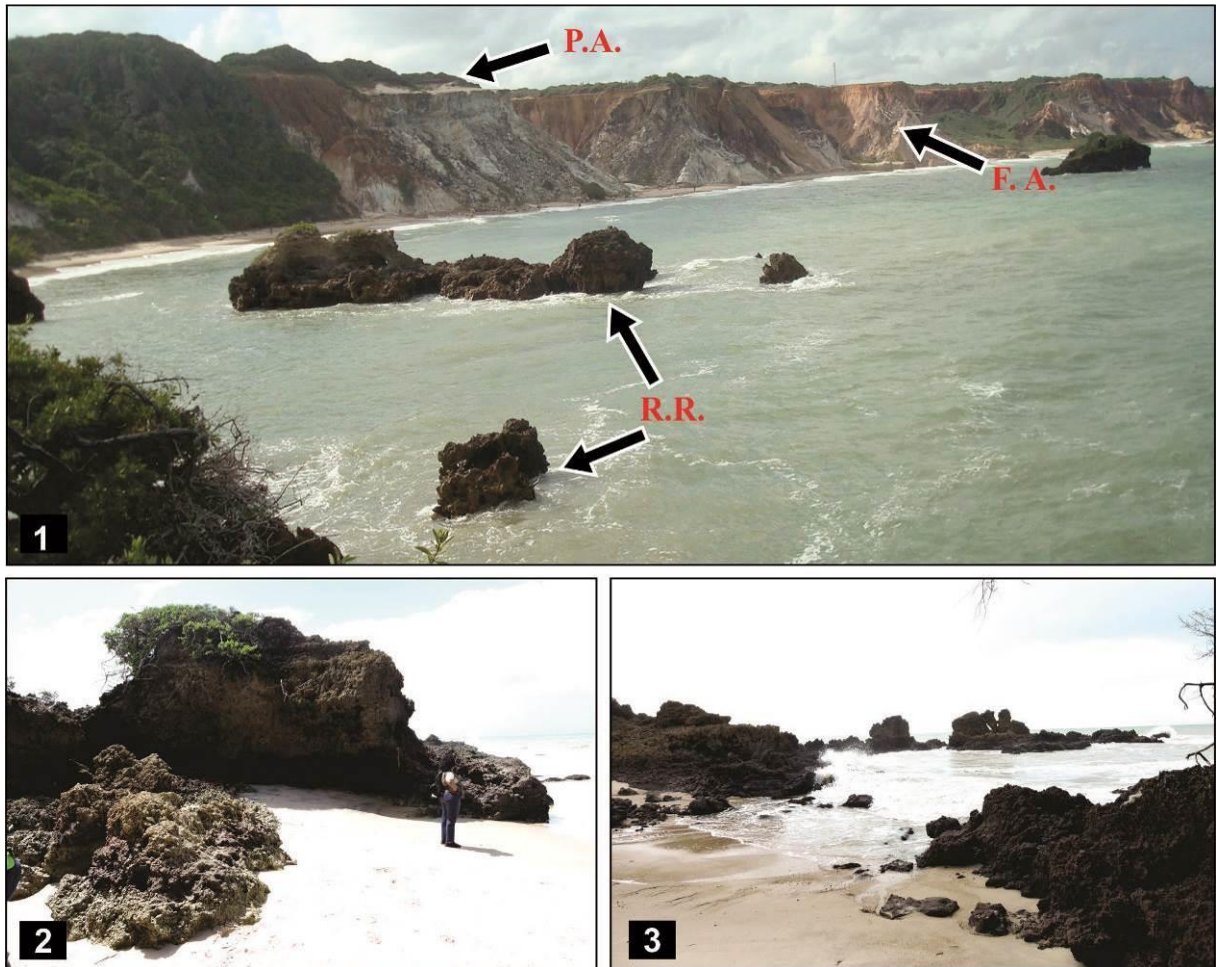


Figura 2.2- Formas de relevo da unidade de geodiversidade DCT: 1. Falésias ativas (F.A.), plataformas de abrasão (P.A.) e relevos residuais (R.R.); 2, 3. Vegetação e relevos residuais na praia da Tambaba.

### 2.3 TECTÔNICA EXTENSIONAL E RECIFES

O processo de extensão litosférica é caracterizado pela instalação de sistemas de falhas normais, desenvolvimento de hemi-grábens, blocos inclinados por rebaixamento do plano de falha, e rotação progressiva, gerando soerguimento isostático. A geomorfologia e o padrão de sedimentação neste contexto são controlados pelo declive tectônico, assimetria da bacia, clima e proximidade com o continente, já o balanço entre as taxas de sedimentação e subsidência influenciam nas oscilações do nível do mar. Em regiões equatoriais, o predomínio do padrão siliciclástico ou carbonático no sistema deposicional compreende uma importante ferramenta adicional para esta análise (Leeder & Gawthorpe, 1987).

Em plataformas carbonáticas a movimentação extensional abrange a formação de bancos nas zonas mais rasas, orientados principalmente segundo a orientação da escarpa de falha. A rampa formada pela movimentação do teto e piso do hemi-gráben é inicialmente uma margem topograficamente mais alta, onde podem se formar recifes ou bancos de areia (Figura

2.3), dependendo do padrão dominante da sedimentação, carbonático ou siliciclástico (Leeder & Gawthorpe, 1987).

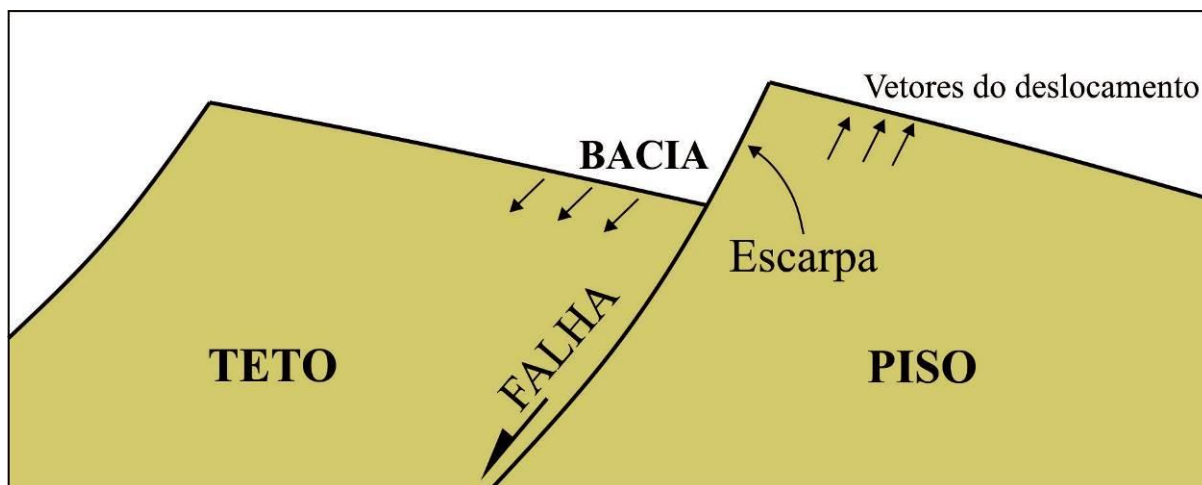


Figura 2.3- Desenho esquemático exibindo o deslocamento de blocos associado ao sistema de hemi-gráben e geração de margem topograficamente mais alta no bloco do teto, propícia à formação de recifes orgânicos. Fonte: Modificado de Leeder & Gawthorpe (1987).

As sequências litológicas associadas a este sistema deposicional podem apresentar ciclicidade entre períodos de soerguimento e subsidência do teto do hemigráben por movimentos eustáticos, que caracterizam respectivamente diminuição e elevação da profundidade da bacia. Nos períodos de raseamento, o influxo de terrígenos aumenta e os horizontes rochosos são mais endurecidos, enquanto nos momentos de aprofundamento, a contribuição siliciclástica diminui, possibilitando a deposição de calcários quase puros em níveis mais espessos (Leeder & Gawthorpe, 1987).

Recifes orgânicos são depósitos sedimentares específicos, correspondendo a um termo que denota qualquer acumulação carbonática influenciada por meio biológico, com alcance acima do nível do mar e resistente à ação das ondas. São compostos predominantemente por organismos que secretam carbonato de cálcio e utilizam como superfície de fixação os restos de outros organismos que ali viveram ao longo do tempo, não sendo um produto de sedimentação física, mas sim a expressão *in situ* de uma comunidade de organismos que se desenvolveu em um determinado lugar durante um certo intervalo de tempo (Davis Jr., 1983; James, 1983, Riding, 2002).

O reconhecimento de recifes fósseis é complexo por 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 erosionais. 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. Um outro problema relacionado à caracterização de recifes fósseis é a sua escala, considerando, por exemplo, que um recife completo do Paleozoico 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, sendo muito variáveis de acordo com o tempo geológico (Davis Jr., 1983).

Os recifes cenozoicos são compostos predominantemente por corais escleractíneos e algas vermelhas coralíneas, sendo que o baixo esclarecimento a respeito da sua gênese e comparação com bioconstruções recentes se dá principalmente pelo registro geológico incompleto destes depósitos (Davis Jr., 1983; Flügel, 2010). Esta lacuna deriva-se basicamente por duas situações, em áreas tectonicamente estáveis encontram-se em subsuperfície, ou em áreas tectonicamente ativas as relações litofaciológicas são obscurecidas por falhas. Além disso, por ocorrerem em zonas tropicais, os afloramentos estão geralmente com alto grau de intemperismo (Davis Jr., 1983).

A distribuição espacial e temporal dos recifes cenozoicos resulta diretamente das modificações do padrão de circulação oceânica global, advindo 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 conexão do Oceano Índico com o Mediterrâneo por um corredor raso. Durante o Oligoceno, os recifes alcançaram o seu máximo de desenvolvimento a partir do estabelecimento de grande parte das comunidades recifais. Com a compressão dos cinturões climáticos e o soerguimento 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 cenozoicos, estabeleceram-se todos os tipos de bioconstruções recifais, nas quais em muitos casos foram reconhecidas zonações verticais e horizontais nas formas de crescimento dos indivíduos, principalmente corais e algas. Os primeiros estágios de crescimento são caracterizados por baixa diversidade coralínea, com esqueletos leves, porosos, ramificados ou incrustantes e de crescimento rápido, que poderiam ocupar inicialmente sedimentos argilosos (corais do gênero *Goniopora* e *Actinacis*). Os estágios seguintes são caracterizados por grande diversidade específica, com predomínio de corais maciços *Goniopora*, *Favia*, *Montastraea*, *Diploria*, *Pavona*, *Calpophyllia* e

*Antiguastrea*, bem como de corais ramificados *Acropora*, *Actinacis*, *Dictyaraea* e *Stylocoenia*, e dos nodulares *Alveopora* e *Astropora*. Outros elementos abundantes são briozoários, foraminíferos incrustantes e algas coralíneas e clorofíceas (Davis Jr., 1983; Tucker & Wright, 1990).

Como consequência da variada e complexa estrutura esquelética dos recifes, suas múltiplas fases de bioerosão por organismos perfuradores, sedimentação interna, cimentação e diagênese, os carbonatos recifais possuem uma gênese complexa e peculiar em escala macroscópica, constituindo materiais bioconstruídos *in situ*, e por esta razão não podem ser aplicadas as propostas clássicas de classificação das rochas carbonáticas, nas quais estes carbonatos são genericamente denominados de biolitos (Folk, 1974) ou *boundstones* (Dunham, 1962).

Por meio de feições texturais e de fábrica utiliza-se a classificação de Embry & Klovan (1971), na qual o componente autóctone pode ser classificado como *bafflestone*, incluindo organismos dispersos e verticalizados que aprisionam sedimentos entre eles de maneira desordenada, tais como corais ramificados; *bindstone*, designa agrupamentos de organismos tabulares ou incrustantes que aprisionam sedimentos e formam uma incrustação plana, tais como as algas coralíneas e corais incrustantes; e *framestone*, inclui os organismos com estrutura maciça que formam uma “armadura” resistente, tais como alguns corais. O termo *boundstone* da classificação de Dunham (1962) pode ser utilizado para carbonatos recifais autóctones sem distinção das formas de crescimento biológicas supradescritas. Já o componente alóctone pode ser classificado como *floatstone* e *rudstone*, em substituição a *wackestone* e *rudstone*, se mais de 10% dos constituintes aloquímicos forem maiores que 2 mm (Figura 2.4).

No recife existem dois estilos de acumulação carbonática, a estrutura rígida e o fluxo biogênico inconsolidado associado. 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 (Figura 2.5). 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 (Davis Jr., 1983; James, 1983).

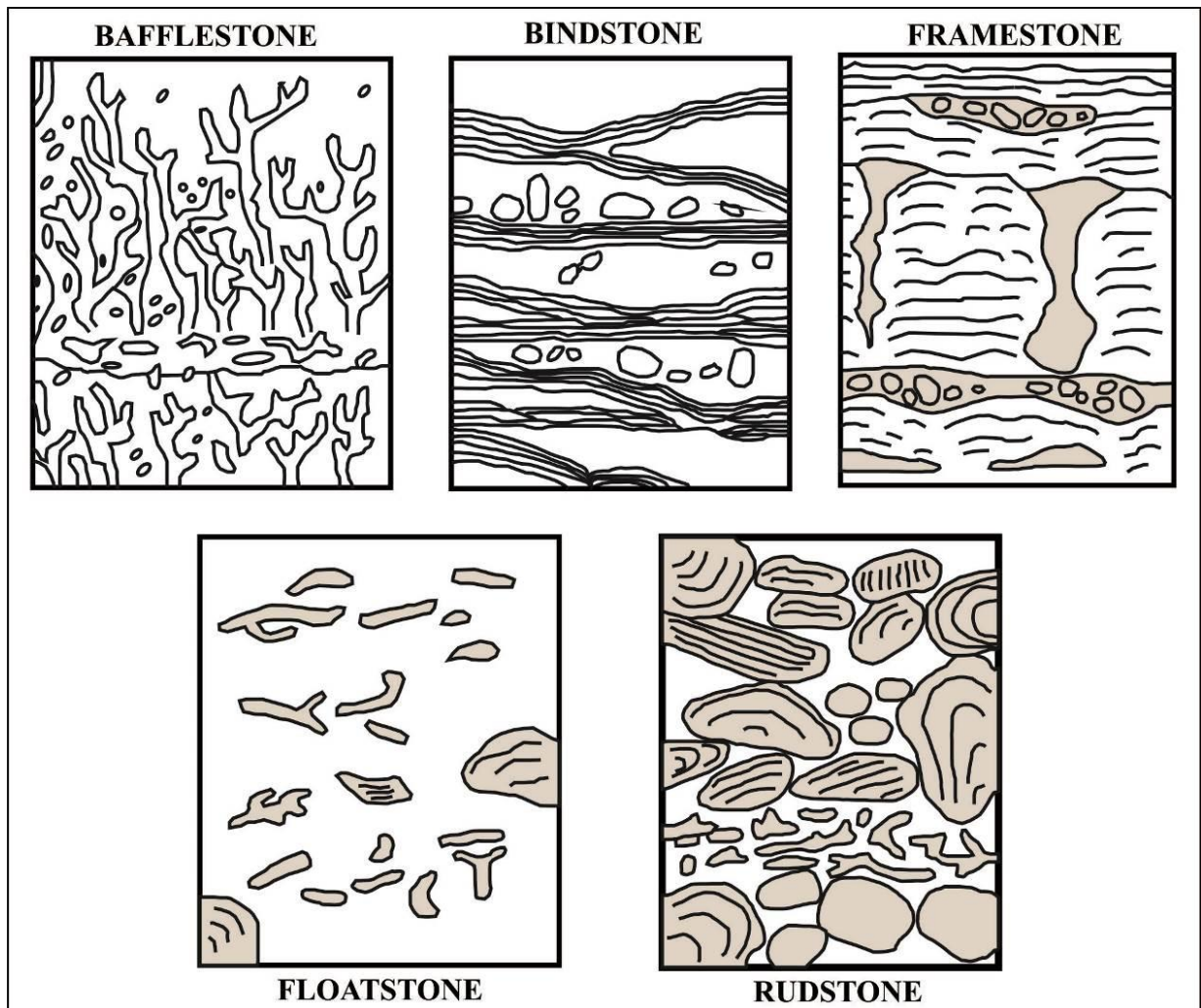


Figura 2.4- Classificação de rochas segundo a classificação de Embry & Klovan (1971) levando-se em conta os critérios texturais e de fábrica.

Fonte: Modificado de Davis Jr. (1983).

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 um dos únicos constituintes biogênicos não esqueléticos são as pelotas fecais (Davis Jr., 1983; James, 1983).

Sedimentos de recifes são quase em sua totalidade areia e cascalho, pobre a moderadamente selecionados, com considerável variação entre os nichos do sistema recifal. A textura dos sedimentos recifais é resultante 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 a granulometria mais abundante, sendo encontrada em todas as zonas do recife (Davis Jr., 1983; Tucker & Wright, 1990).

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. O seu desenvolvimento requer um ambiente eutrófico e com baixo estresse 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 (Riding, 2002).

O rápido crescimento de um recife está diretamente relacionado aos elementos simbioses, que ao executarem algumas funções vitais de seus hospedeiros, aceleram a calcificação dos esqueletos e consequentemente disponibilizam ao sistema altas concentrações de carbonato de cálcio. Os fatores que estressam 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 zónas 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; Riding, 2002; Tucker & Wright, 1990).

Para o estudo dos recifes pretéritos 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 fossilífero 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 tornam-se crescentemente diversos para o topo, e culminam em uma unidade de organismos incrustantes com baixa diversidade específica (James, 1983).

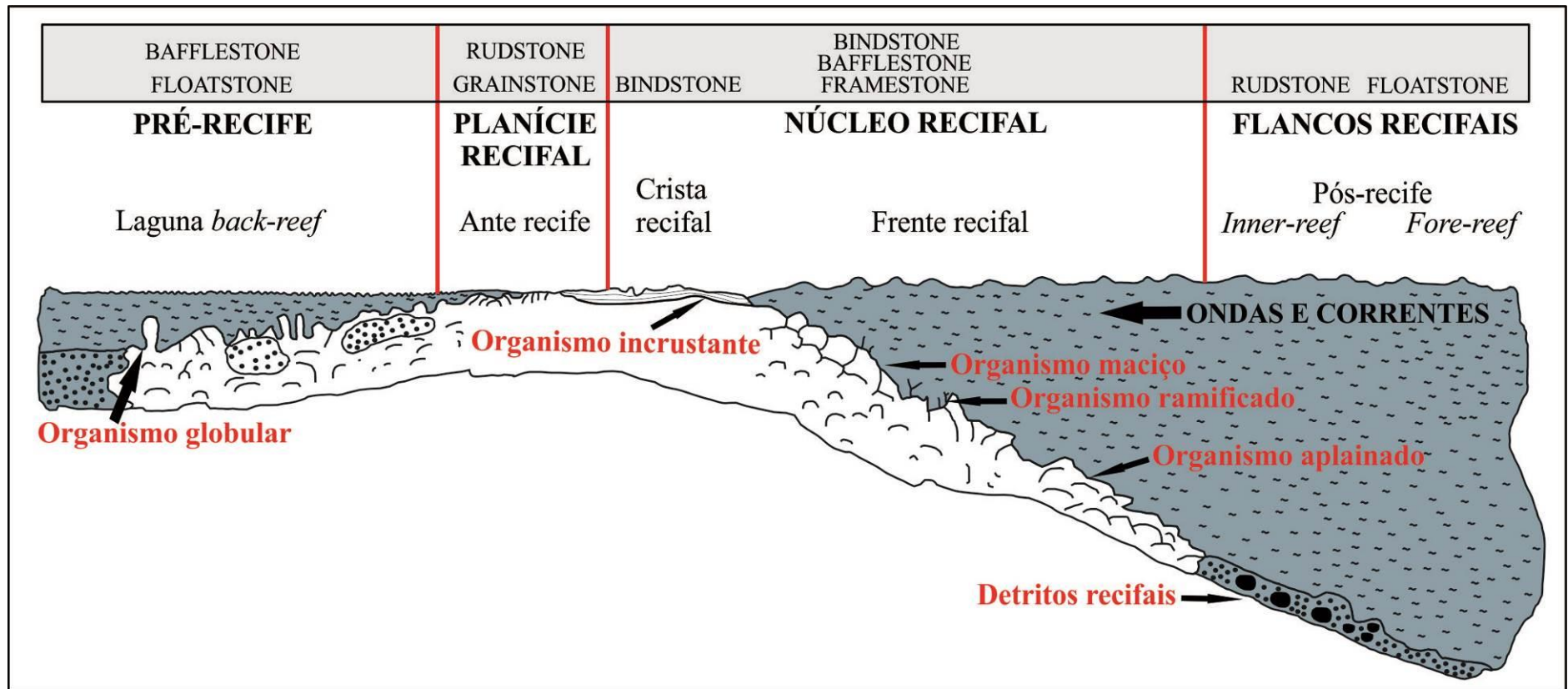


Figura 2.5- Sub-divisão das zonas topográficas e ecológicas de um recife e sua associação com o tipo de carbonato recifal característico de cada sub-ambiente e a forma de crescimento dos organismos viventes neste ecossistema.

Fonte: Modificado de Davis Jr. (1983).

Desta forma é possível afirmar que existe nos recifes uma contínua sucessão ecológica, onde cada fase ou estágio possui litologia e assembleia 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), com diversidade específica e representatividade numérica baixas, sendo que as formas ramificadas abrem nichos menores que podem ser ocupados por outras formas sésseis e incrustantes; 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 observa-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 pode se formar uma camada de *rudstone* (Davis Jr, 1983; James, 1983; Tucker & Wright, 1990; Riding, 2002).

Os estágios I, II e III parecem refletir uma sucessão autogênica, já que cada estágio prepara o meio para o próximo e 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 sob batimetrias cada vez mais rasas (Tucker & Wright, 1990).

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; James, 1983).

### 3 LITOFÁCIES

As rochas carbonáticas recifais da Formação Tambaba (Correia Filho *et al.* 2015) afloram ao longo das faixas de praias e intermarés no município de Conde/PB, sob a forma de blocos, lajedos e falésias, com geometria tabular, espessura variando entre 1 e 10 metros, e são constituídas litologicamente por calcários maciços e acamadados, fortemente intemperizados, com aspecto ruiniforme e irregular, controlados por tectônica rúptil (fraturas) com *trend* preferencial NE-SW e E-W e subordinadamente NW-SE (Figura 3.1).

A composição, textura, conteúdo paleontológico e relações estratigráficas das litologias identificadas sugerem tratar-se de quatro bioconstruções alongadas segundo a direção N-S, denominadas como Jacumã-Carapibús, Tabatinga, Coqueirinhos e Tambaba (Figura 3.1). Foram reconhecidas macroscopicamente cinco litofácies segundo Embry & Klován (1971), *rudstone*, *bafflestone*, *framestone*, *boundstone* estratificado e *bindstone*. As litofácies e a variabilidade de seus constituintes biológicos macroscópicos definem associações típicas de ecossistemas recifais, abundantes e pouco diversas.

#### 3.1 RUDSTONE

Litofácies restrita aos corpos Jacumã-Carapibús e Coqueirinhos, com espessuras variando entre 10 e 40 cm, constituída por calcários mal selecionados e seixosos de coloração cinza, com seixos carbonáticos argilosos, subangulosos a arredondados de coloração marrom alaranjada (Figura 3.2). Apresenta arcabouço variável, com porções sustentadas por seixos carbonáticos médios a muito grossos, e porções com grãos na fração areia grossa a seixo fino e maior quantidade de matriz carbonática. A associação fóssilífera compõe uma acumulação de detritos esqueléticos, com fragmentos de bivalvíos, gastrópodes e equinóides em uma proporção de 10% de bioclastos, 40% de seixos carbonáticos e 50% de matriz.

#### 3.2 BAFFLESTONE

Litofácies reconhecida no corpo recifal Tabatinga, com espessura variando entre 0,5 e 1 metro, constituída por calcários maciços de coloração marrom alaranjada, com restos esqueléticos esparsos envolvidos em matriz carbonática argilosa numa proporção de 20% de bioclastos e 80% de matriz carbonática de granulometria fina (Figura 3.3). O conteúdo paleontológico é composto por moldes internos e externos de carapaças de bivalvíos e gastrópodes (60%), espinhos de equinóides (30%) e crostas algálicas (10%), com tamanho médio variando entre 1 e 10 cm.

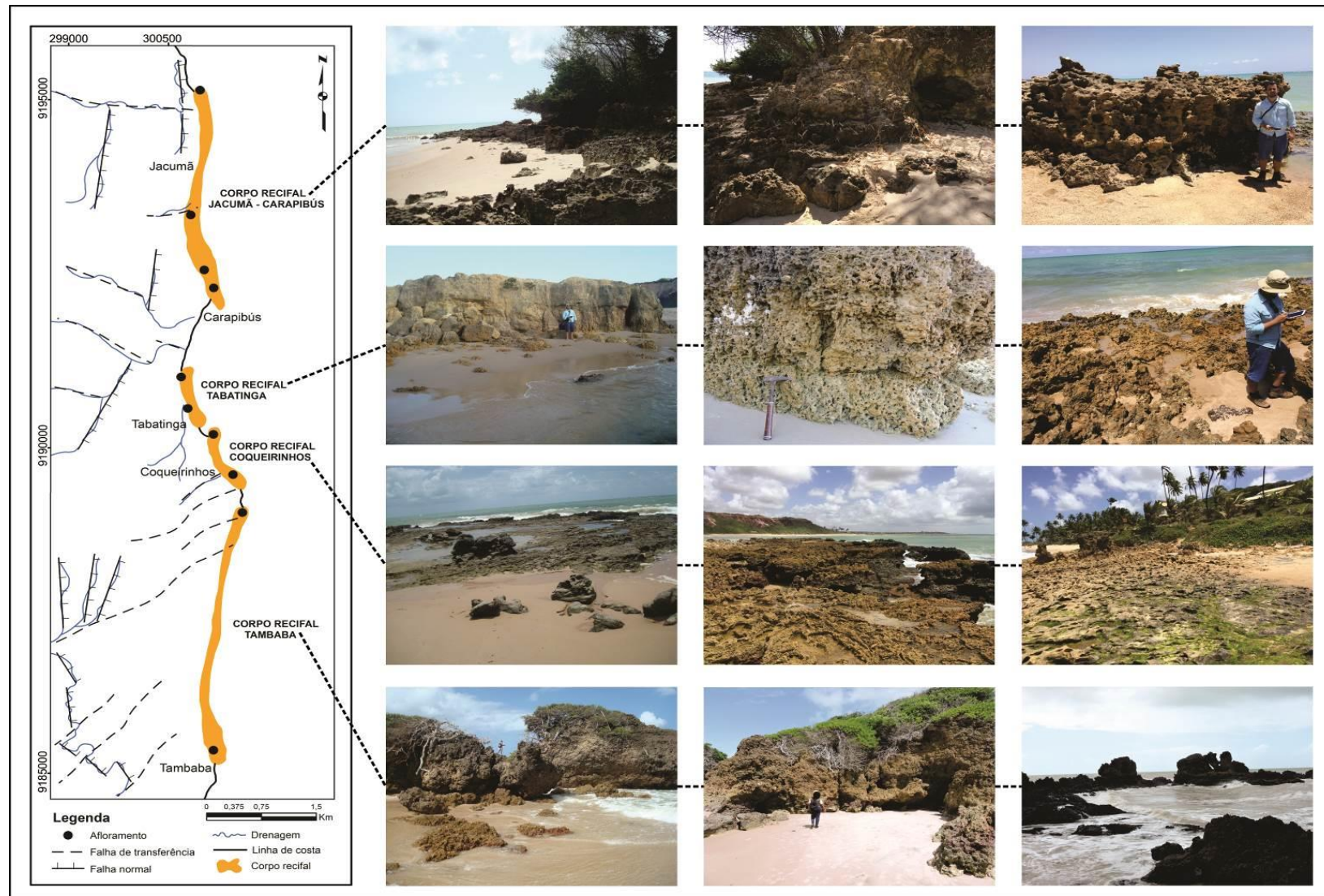


Figura 3.1- Mapa com a distribuição dos corpos recifais estudados e suas exposições mais significativas. Os afloramentos variam de blocos *in situ* e lajedos para os corpos Jacumã-Carapibús, Tabatinga e Coqueirinhos e falésias para o corpo Tambaba.

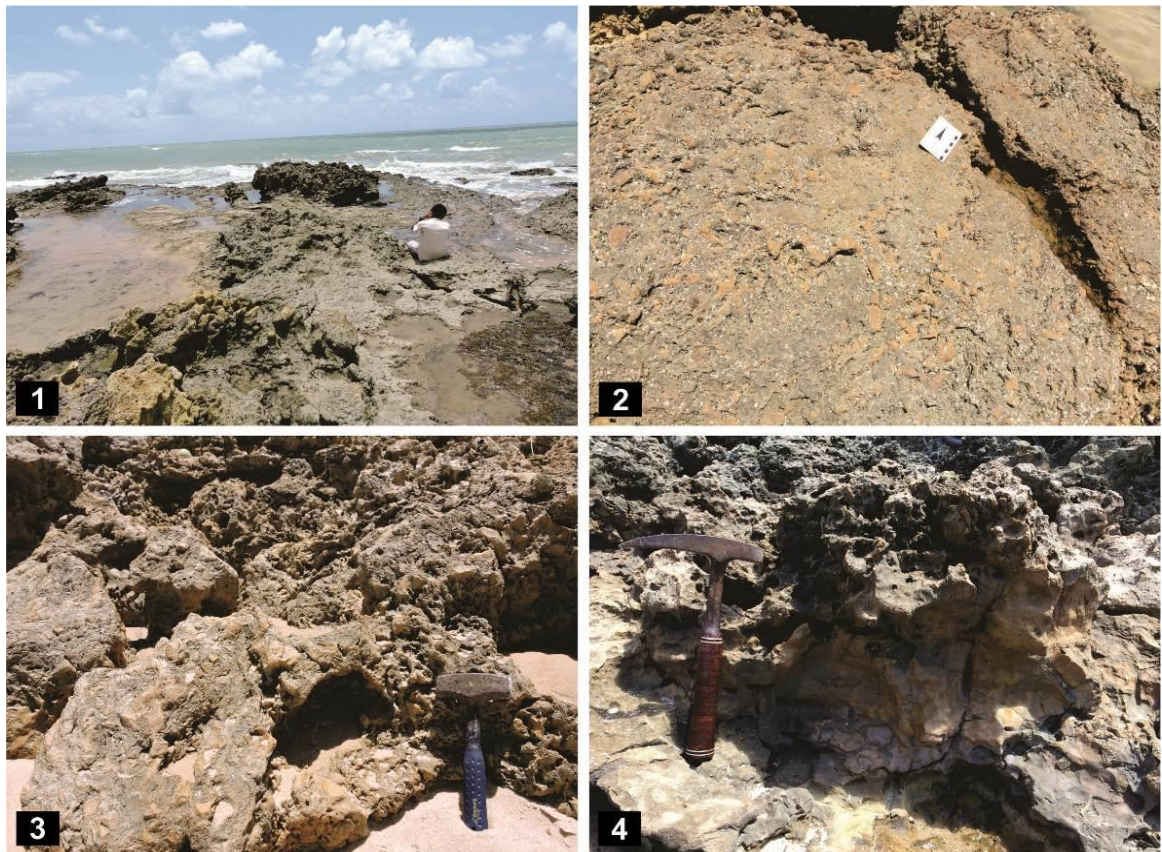


Figura 3.2- Litofácies *rudstone*: 1. Afloramento do tipo lajado; 2, 3. *Rudstone* maciço e seixoso sustentado por seixos carbonáticos argilosos com fração granulométrica variável entre seixo médio a muito grosso; 4. *Rudstone* com maior quantidade de matriz e predomínio de grãos na fração areia grossa a seixo fino.



Figura 3.3- Litofácies *bafflestone*: 1. Afloramento do tipo blocos *in situ*; 2. Aspecto ruíniforme e irregular com predomínio de matriz carbonática argilosa e baixo conteúdo de bioclastos; 3. Fraturas identificadas.

### 3.3 FRAMESTONE

Litofácies mais abundante e expressiva em todos os corpos recifais estudados, com espessuras variando entre 30 cm e 5 metros. É constituída por calcários maciços com aspecto coquinóide, de coloração amarelada a alaranjada, granulometria areia fina e alta proporção de constituintes biogênicos imersos em matriz carbonática argilosa e bioturbada (Figura 3.4).

A associação biótica inclui crostas e esteiras maciças, bem como rodólitos centimétricos, de algas coralíneas (40%), provavelmente atribuídas aos gêneros *Archaeolithothamnion* e *Lithophyllum* respectivamente. Também ocorrem moluscos bivalvíos e gastrópodes (30%), espinhos de equinóides regulares (20%), corais escleractíneos hermatípicos e anermatípicos (5%), além de tubos de *Ophiomorpha* (5%), abundantes e diversificados no corpo recifal Tabatinga. O tamanho médio destes constituintes varia entre 1 e 15 cm, numa proporção de 45% de bioclastos e 55% de matriz carbonática (Figura 3.5).



Figura 3.4- Litofácies *framestone*: 1. Afloramento do tipo bloco *in situ*; 2. Aspecto coquinóide formado por acúmulo de moldes internos e externos de moluscos bivalvíos e gastrópodes; 3. Padrão de fraturamento dos calcários.

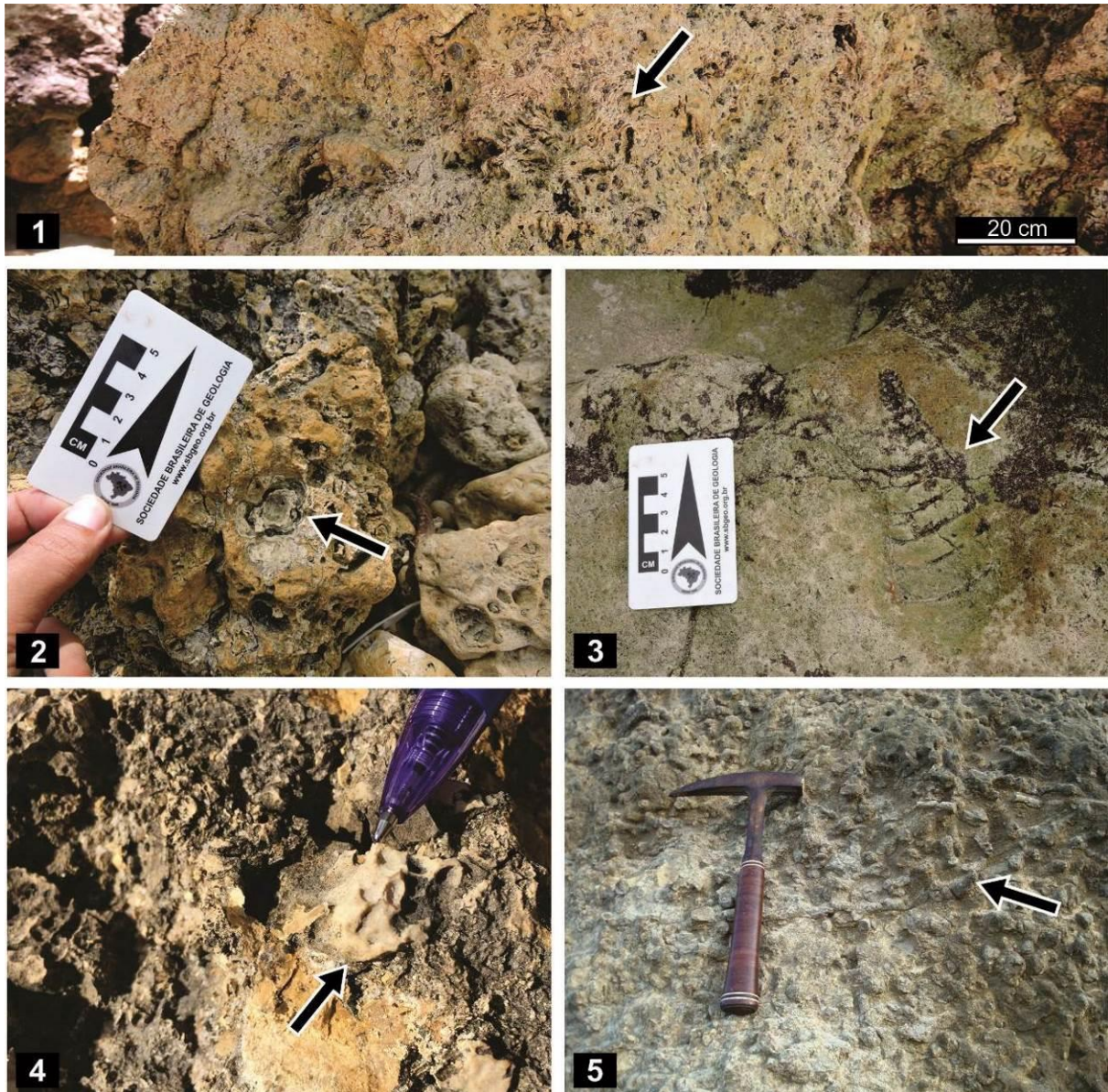


Figura 3.5- Macrofósseis identificados na litofácies *framestone*: 1. Esteiras de *Archaeolithothamnion*; 2. Rodólito de *Lithophyllum*; 3. Molde externo de gastrópode; 4. Coral escleractíneo hermatípico; e 5. Galerias de icnofósseis do icnogênero *Ophiomorpha*.

### 3.4 BOUNDSTONE ESTRATIFICADO

Litofácies identificada nos quatro corpos recifais como horizontes delgados, contínuos, endurecidos, retos a suavemente ondulados e estratificados, entre as camadas de *framestones* com espessuras variando entre 10 e 30 cm (Figura 3.6).

É constituída por calcários estratificados bastante endurecidos, com maior contribuição de grãos terrígenos em relação às outras litofácies. O conteúdo biótico é raro, representado por moldes de moluscos bivalvíos e gastrópodes em uma proporção de 3% de bioclastos e 97% de matriz carbonática argilosa (Figura 3.6).

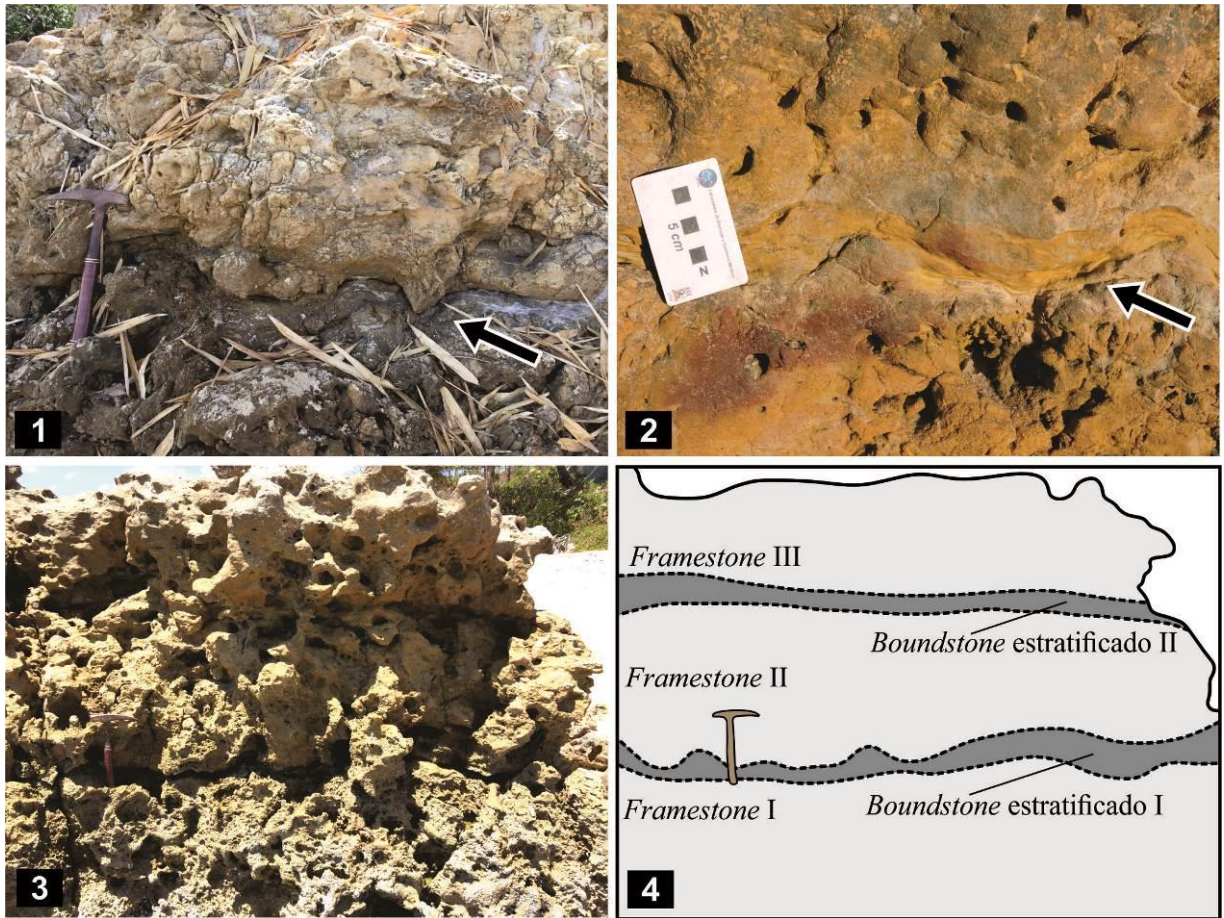


Figura 3.6- Litofácies *boundstone* estratificado: 1, 2, 3. Horizontes delgados, contínuos e estratificados que ocorrem entre as litofácies *framestone*; 4. Desenho esquemático mostrando a disposição espacial das litofácies *framestone* e *boundstone* estratificado.

### 3.5 BINDSTONE

Esta litofácies encontra-se restrita ao corpo recifal Tambaba, perfazendo as camadas superiores deste corpo, com espessuras variando entre 0,5 e 1 m. É constituída por calcários esbranquiçados com granulometria silte a areia fina, e presença de laminações cruzadas indiscriminadas, possivelmente formadas sob influência eólica, uma vez que esta litofácies representa as camadas superiores da bioconstrução, estando associada com algas coralíneas incrustantes (40%) e corais hermatípicos com formas de crescimento tabular (35%), imersos em matriz carbonática argilosa.

A associação inclui ainda fragmentos de moluscos bivalvíos e gastrópodes (25%), numa proporção de 30% de bioclastos e 70% de matriz carbonática (Figura 3.7).

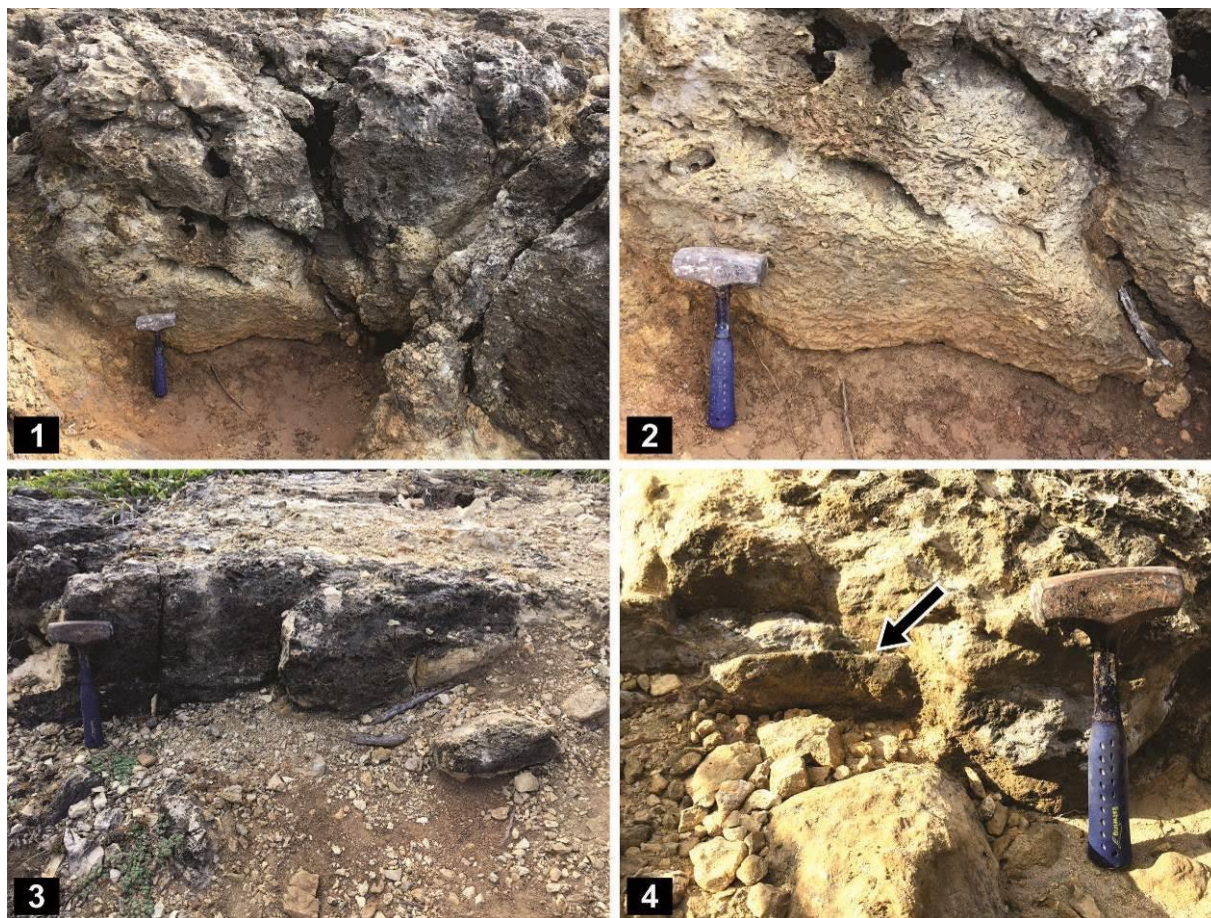


Figura 3.7 - Litofácies *bindstone*: 1, 2, 3. Calcários esbranquiçados com granulometria silte a areia fina e presença de laminações cruzadas indiscriminadas; 4. Laminações cruzadas indiscriminadas observadas ao topo das camadas.

### 3.6 CONTEXTUALIZAÇÃO

A integração dos dados obtidos permitiu o reconhecimento dos estágios colonização (litofácies *bafflestone*), diversificação (litofácies *framestone*) e domínio (litofácies *bindstone*), de acreção recifal. Cabe ressaltar que a litofácies *boundstone* estratificado representa as superfícies de superposição recifal, que marcam gerações distintas de crescimento individual de um recife (Figura 3.8). Os estágios colonização, diversificação e domínio, bem como as superfícies de superposição estão relacionados ao mais importante estilo de acumulação carbonática deste depósito e sua porção estrutural rígida, o núcleo recifal.

A litofácies *rudstone* por sua vez, associa-se com o outro estilo de acumulação carbonática, o fluxo biogênico inconsolidado, que corresponde aos flancos recifais, zona topográfica lateral e contígua ao núcleo. Nesta zona foi reconhecido um *rudstone* com predomínio de seixos mais grossos e menor quantidade de matriz, e outro com sedimentos mais finos e maior quantidade de matriz carbonática, que correspondem, respectivamente, à região mais proximal e mais distal dos flancos recifais (Figura 3.8).

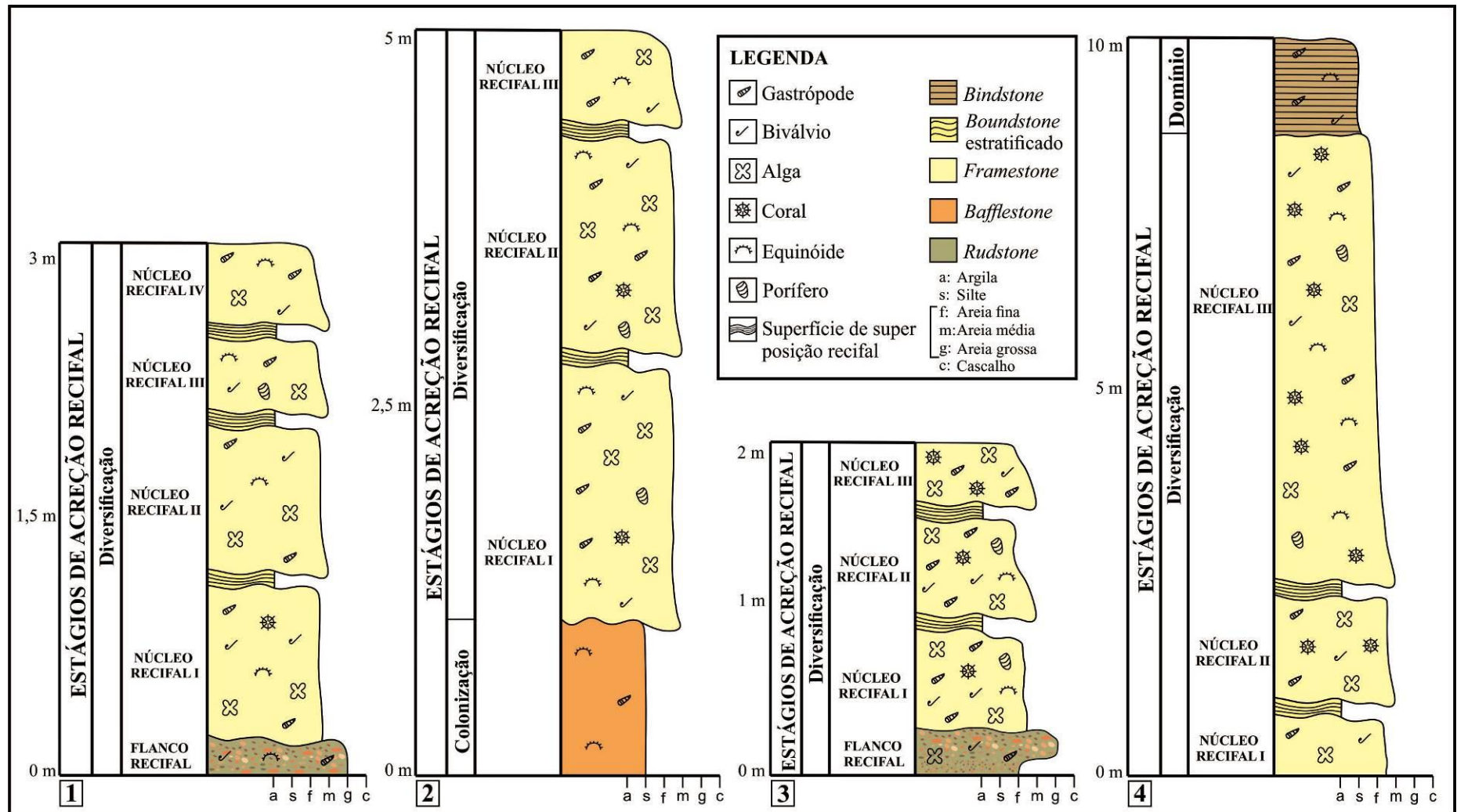


Figura 3.8 - Perfis geológicos dos corpos recifais estudados: 1. Jacumã-Carapibús; 2. Tabatinga; 3. Coqueirinhos; e 4. Tambaba. Observa-se a associação entre as litofácies *bafflestone*, *framestone*, *boundstone* estratificado, *rudstone* e *bindstone* com os estilos de acumulação carbonática e os estágios de acreção recifal.

#### 4 SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

O conteúdo macrofossilífero identificado nos corpos recifais estudados é grande parte composto por fósseis fragmentados e/ou mal preservados, que impedem a caracterização sistemática detalhada. A baixa ocorrência de fósseis pode ser atribuída à ação dos processos diagenéticos (principalmente dolomitização e dissolução) e intempéricos que obliteraram ou apagaram os abundantes elementos bióticos comuns nos ecossistemas recifais.

A maioria dos espécimens foi reconhecida no corpo Tambaba, e inclui corais, bivalvíos, gastrópodes e equinóides, bem como rodólitos algálicos e icnofósseis atribuídos ao icnogênero *Ophiomorpha*. Devido à baixa qualidade preservacional foi possível aferir taxonomicamente apenas nove espécies, majoritariamente indeterminadas, sendo quatro de corais escleractíneos, duas de bivalvíos, uma de gastrópode e uma de alga rodófitas, além de uma icnoespécie.

As abreviaturas aqui utilizadas para indicar as dimensões dos corais são ac- altura do *corallum*, cc- comprimento do *corallum*, lc- largura do *corallum*, dca- diâmetro dos cálices, eco- espessura das costas, dr- diâmetro dos ramos, cr- comprimento dos ramos, e ep- espessura das paredes. Para os moluscos foram determinadas a largura da concha (lco), comprimento (cco), altura (aco) e sutura (s); eixo maior (ema) e eixo menor (eme) para as algas rodófitas; e comprimento do tubo (ct) e largura (lt) para os icnofósseis. Com relação à codificação de tombo das amostras estudadas (MG-XXX-I/V): MG- Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará), XXX- número de tombo na coleção, I- invertebrados ou V- vegetais.

Filo CNIDARIA Hatschek, 1888

Classe ANTHOZOA Ehrenberg, 1834

Subclasse ZOANTHARIA Gray, 1832

Ordem SCLERACTINIA Bourne, 1900

Subordem FUNGIINA Verrill, 1865

Superfamília AGARICIICAE Gray, 1847

Família SIDERASTREIDAE Vaughan & Wells, 1943

Gênero *Siderastrea* Blainville, 1830

*Siderastrea conferta* (Duncan, 1863)

(Figura 4.1-1)

Descrição: *Corallum* colonial maciço, incrustante, cerióide a subcerióide, com base plana e horizontal. Coralitos contíguos, prismáticos a subcilíndricos, separados por paredes sinapticulotecadas delgadas. Cálices rasos, monocêntricos, subcirculares a poligonais, hexagonais ou pentagonais. Septos numerosos, iguais a subiguais, retos, laminados, equidistantes, lateralmente lisos e hexameralmente arranjados em quatro a cinco ciclos, completos a incompletos, variando entre 38 e 54 unidades. Os septos do primeiro ciclo são mais espessos, com bordas superiores denticuladas e inferiores fundidas à columela. Os septos do segundo ciclo também são espessos, equivalentes à metade do diâmetro dos primeiros, e também fundidos à columela. Os septos do terceiro ciclo são curtos, laminados, esteitamente fundidos às paredes septais dos dois primeiros ciclos. Os septos do quarto e quinto ciclos são delicados, não fundidos à columela. Sinaptículas numerosas, perpendiculares aos septos ou aleatoriamente dispostas nas paredes do *corallum*. Columela pequena e papilosa. Dissepimentos endotecais esparsos e vesiculares. Holoteca, estruturas trabeculares, e dissepimentos exotecais ausentes.

Ocorrência: Estados Unidos- Formação Clayton, Paleoceno; México- Formação Lecheria, Eoceno Inferior; Formação La Quinta, Oligoceno Superior; Formação Rancho Berlin, Oligoceno Superior; Porto Rico- Formação Pepino, Mioceno; Anguilla- Formação Anguilla, Mioceno Inferior a Médio (Duncan, 1863; Vaughan, 1900; Vaughan, 1919; Felix, 1925; Frost & Langenheim, 1974; Budd *et al.* 1989; Budd *et al.* 1994; Baron-Szabo, 2008); Brasil- Formação Tambaba, Eoceno (este trabalho).

Material: três fragmentos de colônias (MG-7154-I, MG-7155-I-A, MG-7156-I) procedentes do corpo recifal Tambaba, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: (MG-7154-I) cc: 87 mm; lc: 80 mm; ac: 39 mm; dca: 5- 8 mm; ep: 0.5- 2.5 mm. (MG-7155-I-A) cc: 13.5 mm; lc: 13 mm; dca: 5- 5.5 mm; ep: 0.5- 0.8 mm. (MG-7156-I) cc: 22 mm; lc: 18 mm; ac: 20 mm; dca: 6- 7 mm; ep: 0.4- 0.8 mm.

Discussão: A espécie *Siderastrea conferta* foi proposta como pertencente ao gênero *Isastrea* por Duncan (1863) nos estratos miocênicos da Ilha de Anguilla. Mais tarde, foi reposicionada

em *Siderastrea* por Vaughan (1919) a partir da descrição de espécimens da Formação Pepino de Porto Rico.

A espécie aqui descrita apresenta similaridades morfológicas com *S. silicensis* Vaughan, 1927 e *S. banksi* Weisbord, 1973, ambas descritas no Mioceno Inferior da Florida, no contorno e diâmetro dos cálices, número e arranjo dos elementos septais e forma geral da columela. No entanto, em *S. conferta* os cálices são mais rasos, as paredes de separação dos coralitos são sinapticulotecadas e menos espessas e as sinaptículas são mais numerosas e bem desenvolvidas. Devido às similaridades morfológicas, com distinção apenas no contorno das paredes que separam os coralitos, Baron-Szabo (2008) considerou *S. hexagonalis* Vaughan, 1900 como sinônima de *S. conferta*.

#### SIDERASTREIDAE *incertae sedis*

(Figura 4.1-2)

Descrição: *Corallum* colonial incrustante, plocóide a subplocóide, cálices rasos e subelípticos, separados por paredes lisas e delgadas. Septos, columela, dissepimentos, holoteca e estruturas trabeculares não visíveis.

Ocorrência: Brasil- Formação Tambaba, Eoceno (este trabalho).

Material: um fragmento de colônia procedente do corpo recifal Coqueirinhos, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: cc: 12 mm; lc: 6 mm; dca: 2 mm.

Discussão: A má preservação dos detalhes morfológicos diagnósticos dos coralitos, cálices, septos, paredes e columela impedem situar o espécimen aqui descrito em categorias taxonômicas menores.

Subordem FAVIINA Vaughan & Wells, 1943

Superfamília FAVIICAE Gregory, 1900

Família FAVIIDAE Gregory, 1900

Subfamília FAVIINAE Gregory, 1900

Gênero *Caulastraea* Dana, 1846

*Caulastraea* sp.

(Figura 4.1-3)

Descrição: *Corallum* colonial, dendróide, facelóide e ramoso, com ângulo de bifurcação variando entre 20° e 25° entre os coralitos. Coralitos subcilíndricos, com segmentos inferiores unidos por uma extremidade basal circular. Costas bem desenvolvidas e septotecadas. Septos iguais a subiguais, contíguos, retos e lateralmente granulados. Detalhes morfológicos dos cálices, holoteca, estruturas trabeculares, lobos paliformes e dissepimentos não visíveis.

Ocorrência: Brasil- Formação Tambaba, Eoceno (Almeida, 2000; este trabalho).

Material: dois fragmentos de colônias (MG-7157-I, MG-7158-I) procedentes do corpo recifal Tambaba, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: (MG-7157-I) lc: 19 mm; ac: 29 mm; eco: 0.1- 0.2 mm; dr: 2.5- 3.5 mm; cr: 14- 18 mm. (MG-7158-I) eco: 0.2- 0.3 mm; dr: 3 mm; cr: 28 mm.

Discussão: A morfologia do *corallum*, costas e padrão de distribuição dos coralitos são típicos do gênero *Caulastraea*, e a má preservação dos detalhes morfológicos diagnósticos dos cálices, septos e columela impedem situá-lo em nível específico (Wells, 1956).

Estes indivíduos apresentam afinidades com *C. dendroidea* (Coryell & Ohlsen, 1929) e *C. portoricensis* (Coryell & Ohlsen, 1929), ambas do Mioceno Inferior da Formação Pirabas (Távora *et al.* 2016), na forma geral do *corallum*, ângulo de bifurcação entre os coralitos e padrão de distribuição dos septos e costas. Porém, a qualidade das feições preservacionais dos caracteres diagnósticos dos exemplares da unidade Tambaba impedem considerá-lo como representante de uma das duas espécies supracitadas.

Observações: O gênero *Caulastraea* já foi reconhecido e ilustrado por Almeida (2000) nos estratos eocênicos da Formação Tambaba também através de outra espécie indeterminada diferente desta, cujas ilustrações e descrição atestam como pertencente ao táxon *Caulastraea*.

Subordem CARYOPHYLLIINA Vaughan & Wells, 1943

Superfamília FLABELLICAE Bourne, 1905

Família FLABELLIDAE Bourne, 1905

Gênero *Flabellum* Lesson, 1831

Subgênero *Flabellum* (*Flabellum*) Lesson, 1831

*Flabellum* (*Flabellum*) sp.

(Figura 4.1-4)

Descrição: *Corallum* solitário pequeno, cuneiforme, lateralmente comprimido e bordos plano-convexos. Cálice monocêntrico, elíptico, raso, com extremidade calicular lisa, contínua e subcircular. Costas septotecadas, retas, equidistantes, ornamentadas por grânulos e separadas por sulcos rasos e aplainados. Septos hexameralmente arranjados em três ciclos completos com aproximadamente 24 unidades, iguais a subiguais, retos, contíguos, espessos e lateralmente granulados. Os septos do primeiro e segundo ciclos são mais espessos e fundidos internamente à columela. Os septos do terceiro ciclo são laminados, e aparentemente não se fundem ao centro. Fosseta subcircular abrigando uma columela rudimentar, contínua e estreita. Epiteca, dissepimentos, estruturas trabeculares, sinaptículas e *pedicel* não visíveis.

Ocorrência: Brasil- Formação Tambaba, Eoceno (este trabalho).

Material: dois espécimens juvenis (MG-7155-I-B, MG-7159-I) procedentes do corpo recifal Tambaba, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: (MG-7155-I-B) cc: 5.8 mm; lc: 3.5 mm; dca: 5.8 mm. (MG-7159-I) cc: 3 mm; lc: 2.4 mm; dca: 3 mm.

Discussão: As feições morfológicas do gênero *Flabellum* Lesson, 1831 são similares às reconhecidas em *Paracyathus* Milne Edwards & Haime, 1848, principalmente na forma cuneiforme do *corallum*, tamanho reduzido dos indivíduos e mal desenvolvimento da columela. Porém, em *Paracyathus* há o desenvolvimento de sistemas anelares de *pali*, sendo estas feições não identificadas nos espécimens supracitados. Os efeitos dos processos fossildiagnéticos obliteraram ou apagaram os detalhes morfológicos dos septos, cálice e epiteca, mantendo a identificação dos exemplares como espécie indeterminada (Wells, 1956).

Foram identificadas similaridades com *Flabellum* (*Flabellum*) *wailesi* Conrad, 1855 descrito por Fernandes (1979) e confirmado por Távora *et al.* (2015) nos estratos miocênicos da Formação Pirabas no Estado do Pará. Ainda que a forma geral do *corallum* e cálice sejam muito semelhantes, na espécie de Conrad os indivíduos são maiores, as costas são onduladas, os septos mais numerosos e a fosseta mais profunda.

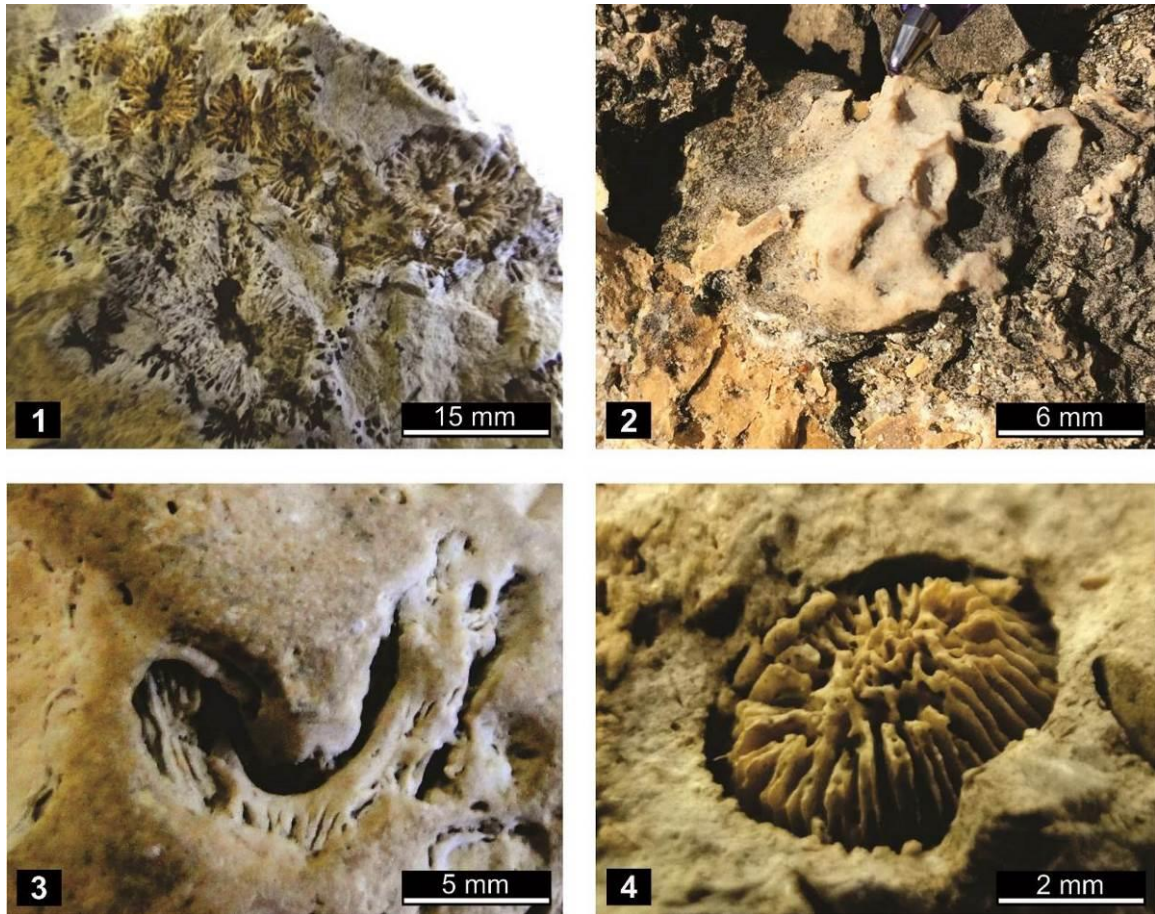


Figura 4.1- Macrofósseis de corais: 1. *Siderastrea conferta* (Duncan, 1863) (MG-7154-I); 2. SIDERASTREIDAE incertae sedis; 3. *Caulastrea* sp. (MG-7157-I); e 4. *Flabellum* (*Flabellum*) sp. (MG-7155-I-B).

Filo MOLLUSCA Cuvier, 1797

Classe BIVALVIA Linné, 1758

Subclasse PTERIOMORPHIA Beurlen, 1944

Ordem ARCOIDA Stoliczka, 1871

Superfamília ARCACEA Lamarck, 1809

Família ARCIDAE Lamarck, 1809

Subfamília ARCINAE Lamarck, 1809

Gênero *Barbatia* Gray, 1842

*Barbatia* sp.

(Figura 4.2-1)

Descrição: Concha média, inequilateral, oblonga e entumecida. Superfície externa ornamentada por numerosas costelas radiais, delicadas, elevadas, contíguas e separadas por interespaços planos. Linhas de crescimento concêntricas, espessas, retas a levemente onduladas, e por vezes crenuladas.

Material: Um espécimen (MG-7160-I) procedente do corpo recifal Tambaba, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: aco: 28 mm; cco: 20 mm.

Subclasse HETERODONTA Neumayr, 1884

Ordem VENEROIDA H. Adams & A. Adams, 1856

Superfamília CHAMACEA Lamarck, 1809

Família CHAMIDAE Lamarck, 1809

Gênero *Arcinella* Schumacher, 1817

*Arcinella* sp.

(Figura 4.2-2)

Descrição: Concha pequena, convexa, entumecida, margem anterior truncada e margem posterior arredondada. Superfície externa ornamentada por pequenos e numerosos espinhos arranjados uniformemente em fileiras radiais.

Material: Um espécimen (MG-7161-I) procedente do corpo recifal Tambaba, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: aco: 20 mm; cco: 19 mm.

Classe GASTROPODA Cuvier, 1797

Ordem MESOGASTROPODA Thiele, 1925

Superfamília CERITHIOIDEA Fleming, 1822

Família CERITHIDAE Fleming, 1822

Subfamília CAMPANILIDAE Douvillé, 1904

Gênero *Serratocerithium* Vignal, 1897

*Serratocerithium* sp.

(Figura 4.2-3)

Descrição: Concha pequena a média, espira alta composta por 8 a 12 voltas, com lados suavemente côncavos, suturas bem marcadas, estreitas e pouco rebaixadas.

Material: Um espécimen procedente do corpo recifal Jacumã-Carapibús, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: lco: 35 mm; cco: 60 mm; s: 10- 15 mm.

Divisão RHODOPHYTA Wettstein, 1910

Classe FLORIDEOPHYCEAE Cronquist, 1960

Ordem CORALLINALES Silva & Johansen, 1986

Família CORALLINAEAE J.V. Lamouroux, 1812

Subfamília LITHOPHYLLOIDEA Setchell, 1943

Gênero *Lithophyllum* Philippi, 1837

*Lithophyllum* sp.

(Figura 4.2-4)

Descrição: Nódulos subesféricos, globosos ou elipsoidais definidos por crescimentos envelopados individualizados, resultantes da precipitação de carbonato de cálcio em torno de filamentos e camadas de células algálicas.

Material: 36 rodólitos procedentes do corpo recifal Tambaba, município de Conde, estado da Paraíba.

Medidas: Os exemplares possuem em média dimensões do eixo maior de 30 mm; e do eixo menor em torno de 18 mm.

Ícnogênero *Ophiomorpha* Lundgren, 1891

*Ophiomorpha* icnosp.

(Figura 4.2-5,6)

Descrição: Sistemas de escavação simples a ramificadas de tubos que originam redes verticais, oblíquas ou horizontais, cuja superfície externa é ornamentada por pelotas ovais ou discóides de diferentes tamanhos e concentrações.

Material: sistemas de tubos em escala de afloramento, predominantes no corpo Tabatinga, município de Conde, Estado da Paraíba.

Medidas: ct: 40- 70 mm; lt: 7- 10 mm (em média).

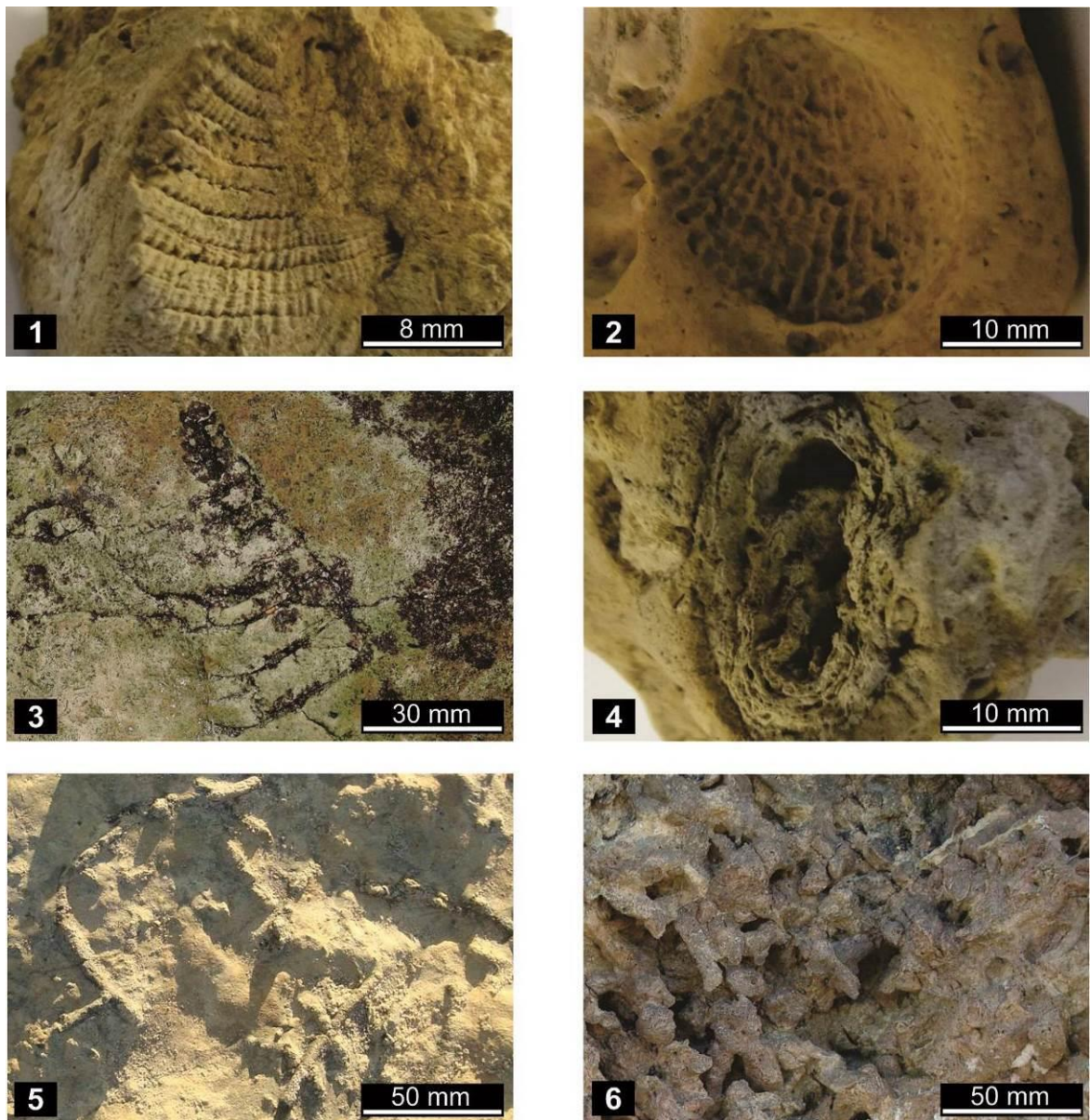


Figura 4.2- Macrofósseis de bivalvíos, gastrópode, alga rodófitas e icnofóssil: 1. *Barbatia* sp. (MG-7160-I); 2. *Arcinella* sp. (MG-7161-I); 3. *Serratocerithium* sp.; 4. *Lithophyllum* sp.; 5,6. *Ophiomorpha* icnosp.

## 5 PETROGRAFIA

### 5.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA

O exame petrográfico das rochas que compõem o sistema de recifes em franja da Formação Tambaba revelou a caracterização de uma microfácies no estágio de colonização da construção recifal, sete na fase de diversificação e uma na etapa de domínio, com variações texturais e composicionais. Os constituintes aloquímicos estão representados por fragmentos de algas calcárias (dominantes), poríferos, corais, bivalvíos, gastrópodes e equinóides, bem como pelotas fecais, estruturas de bioturbação e evidências de atividades de fungos e bactérias.

#### 5.1.1 Estágio Colonização

##### 5.1.1.1 Núcleo Recifal

A. Biomicrito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolomudstone* fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)

Esta microfácies caracteriza-se por um arcabouço sustentado por matriz dolomitizada (90-95%) texturalmente homogênea, e constituintes aloquímicos (5-10%) pouco abundantes e mal preservados (Figura 5.1-1).

A matriz da rocha é definida por micrito de coloração marrom escura e brilho fosco, parcialmente a totalmente dolomitizado devido à formação de mosaicos de cristais incolores e romboédricos de dolomita com textura hipidiotópica e granulometria variando de areia muito fina a fina (Figura 5.1-2). Também ocorrem domínios definidos por cimento de óxido/hidróxido de ferro tardio, maciço, homogêneo, sem diferenciação de cristais e de coloração laranja avermelhada, preenchendo porosidades entre os cristais romboédricos de dolomita (Figura 5.1-3). Os bioclastos apresentam-se em granulometria variando de areia fina a grossa (máximo de 9 mm de comprimento e 4 mm de largura). O litotipo apresenta porosidade baixa (4-5%) representada predominantemente por poros fenestrais com 1 mm de comprimento e 0,2 mm de largura, e subordinadamente por poros vugulares e moldicos de gastrópodes e algas verdes, sendo todos com preenchimento moderado a alto por cimento (Figura 5.1-4). Os aspectos texturais e mineralógicos dos constituintes desta rocha sugerem processo de dolomitização substituindo a sua composição original (Figura 5.1-2).

Observações: Esta microfácies tem ocorrência restrita ao corpo Tabatinga (lâminas EC-CT-01A, EC-CT-01B).

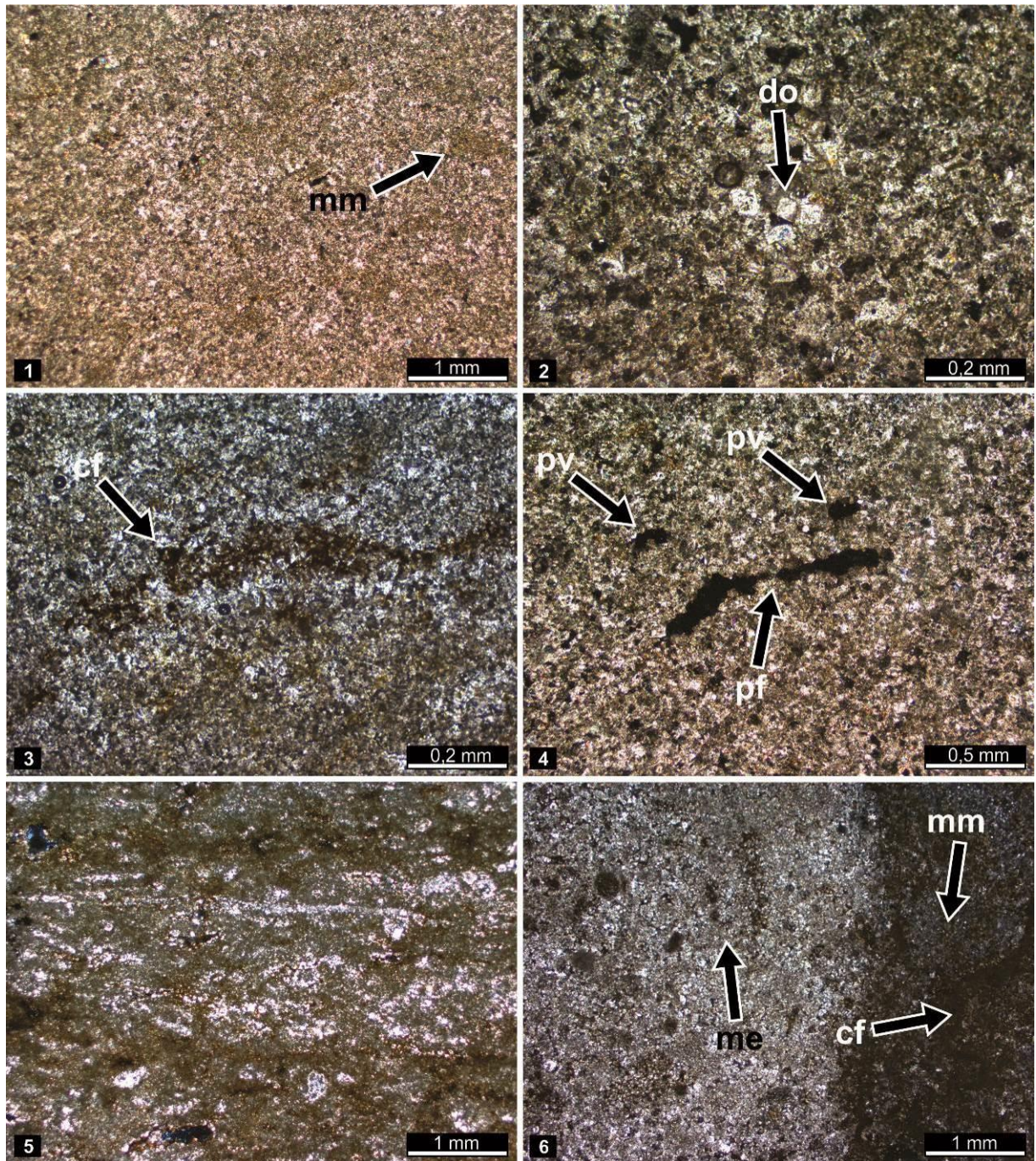


Figura 5.1- 1. *Dolomudstone* fossilífero- matriz micrítica (mm) de coloração marrom escura, definido por lama carbonática sem individualização de cristais; 2. *Dolomudstone* fossilífero- mosaicos hipidiotópicos de cristais romboédricos e incolores de dolomita (do); 3. *Dolomudstone* fossilífero- domínios de cimento de óxido/hidróxido de ferro maciço e homogêneo (cf); 4. *Dolomudstone* fossilífero- poros vugulares (pv) e fenestral (pf); 5. *Dolowackestone* fossilífero- intercalação entre matriz micrítica e laminações algálicas; 6. *Dolowackestone* fossilífero- matriz micrítica (mm) neomorfizada para cimento microesparítico (me) e cimento de óxido/hidróxido de ferro provavelmente de origem intempérica (cf).

### 5.1.2 Estágio Diversificação

#### 5.1.2.1 Núcleo Recifal

A. Pelbiomicrito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolowackestone* fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)

A presente microfácies é definida por alternância entre laminações algálicas e domínios sustentados por matriz micrítica dolomitizada (55-85%), bem como distribuição heterogênea de somatofósseis (20-25%) e pelotas fecais (2-3%). Os constituintes aloquímicos terrígenos são ausentes devido ao predomínio da sedimentação recifal de origem carbonática biogênica (Figura 5.1-5).

O micrito ocorre como calcita microcristalina de coloração variando entre diversos tons de marrom de acordo com a concentração de matéria orgânica, tanto no arcabouço da rocha quanto no interior ou bordas de bioclastos, nos quais se dispõe como envelopes milimétricos. A matriz micrítica apresenta alternâncias de laminações irregulares, finas, contíguas e onduladas com domínios neomorfizados para microesparito de até 6 mm de comprimento (Figuras 5.1-5 e 5.1-6). A matriz micrítica e os fragmentos bioclásticos estão substituídos por cristais incolores, límpidos e romboédricos de dolomita, com faces cristalinas subédricas a euédricas, duas direções de clivagens bem visíveis e granulometria variável de areia muito fina a fina, definindo textura hipidiotópica equigranular. Estas feições atestam dolomitização, enquanto que cristais romboédricos de dolomita com até 2 mm de comprimento substituídos por mosaicos de calcita espática em seu interior indicam dedolomitização (Figuras 5.2-1 e 5.2-2). Os contatos retilíneos ou côncavo-convexos dos cristais de dolomita sugerem efeitos de compactação mecânica. A microfácies aqui descrita apresenta aproximadamente 10 a 15% de poros, intergranulares e fenestrais com tamanhos e formas variados, bifurcados, ramosos e cimentados em suas bordas por dolomita (Figura 5.2-3). Além disso ocorrem poros *boring*, que formam tubos retos a recurvados, paralelos a randômicos, interligados, bifurcados e preenchidos por cimento, com orientação discordante das laminações algálicas (Figura 5.2-4). Também foram individualizados poros móldicos, vulgares e intercristalinos, parcialmente cimentados por dolomita em suas bordas, que pode caracterizar porosidade secundária.

Os somatofósseis apresentam distribuição homogênea no arcabouço da rocha, são moderadamente a mal selecionados, com granulometria variando de areia muito fina a grossa,

e obliterados pela dolomitização e dedolomitização, reconhecidos pela preservação de envelopes de calcita microcristalina marrom escura, ou como aglomerados de cristais de cimento que mantêm o contorno morfológico característico.

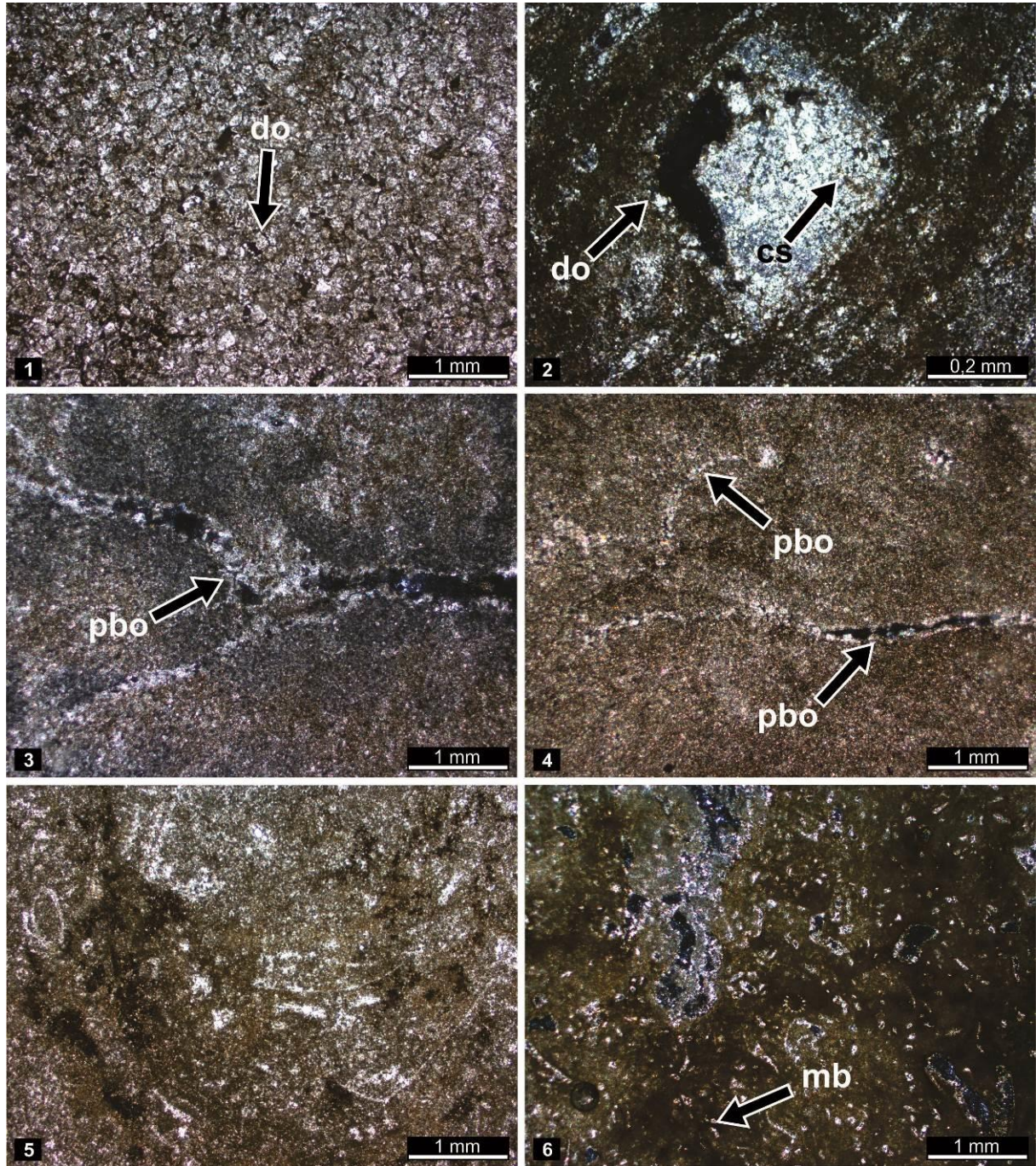


Figura 5.2- 1. *Dolowackestone* fossilífero- cristais romboédricos de dolomita (do) definindo textura hipidiotópica equigranular; 2. *Dolowackestone* fossilífero- dedolomitização definida por cristal de dolomita (do) substituída em seu interior por calcita espática (cs); 3. *Dolowackestone* fossilífero- porosidade biológica *boring* (pbo) bifurcada e preenchida por cimento; 4. *Dolowackestone* fossilífero- porosidade biológica *boring* (pbo) preenchida por cimento e com orientação randômica; 5. *Dolopackstone* fossilífero- arcabouço sustentado por fragmentos de fósseis corpóreos mal preservados devido ao intenso processo de cimentação e dolomitização, e matriz micrítica com domínios dolomitizados; 6. *Doloframestone*- matriz biogênica (mb) formada pela atividade de organismos bioconstrutores (algas) maciços com alta quantidade de porosidade primária preenchida por cimento.

Observações: Esta microfácies ocorre nos corpos Jacumã-Carapibús (EDI-CJ-01, EDI-CJ-02A, EDI-CJ-02B, EDI-CJ-04A, EDI-CJ-04B, EDI-CJ-04C, EDI-CJ-06A, EDI-CJ-06B, EDI-CJ-06C), Tabatinga (EDI-CT-04A, EDI-CT-04B) e Coqueirinhos (EDI-CCQ-09A, EDI-CCQ-09B), sendo que o padrão de porosidade associado às feições de bioturbação (poros *boring*) é principalmente reconhecido nos calcários descritos do corpo Tabatinga.

B. Biomicrito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolopackstone* fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)

A microfácies em tela possui arcabouço sustentado por fragmentos de fósseis corpóreos (60-70%) imersos em matriz dolomitizada (30-40%). É muito similar à *dolowackestone* fossilífero, distinguindo-se pela maior abundância de restos esqueléticos, ausência de pelóides e menor preservação de porosidade primária e secundária. Esta rocha apresenta pequena quantidade de poros (< 5%), predominantemente vulgares milimétricos, e outros intergranulares preenchidos por diminutos cristais de cimento. A porosidade primária pode ter sido reduzida pelo intenso processo de cimentação e dolomitização (Figura 5.2-5).

Observações: Esta microfácies tem ocorrência restrita ao corpo Jacumã-Carapibús (lâminas EDI-CJ-05A, EDI-CJ-05B, EDI-CJ-05C).

C. Biolito dolomitizado (Folk, 1974) / *Doloframestone* (Embry & Klovan, 1971)

Esta microfácies é definida por um arcabouço sustentado por organismos construtores maciços com esqueleto rígido (50-60%), imersos em mosaicos de calcita microcristalina (20-35%). Os constituintes aloquímicos estão representados também por outros restos esqueléticos (5-30%) e icnofósseis (2-3%), sem grãos siliciclásticos (Figura 5.2-6).

A matriz pode ocorrer como agregados microcristalinos de origem biogênica e coloração marrom escura, diretamente associada à atividade dos organismos construtores do esqueleto recifal, ou neomorfizada para microesparito. A cimentação da rocha restringe-se ao neomorfismo da lama carbonática para microesparito, e à presença de franjas e mosaicos de cimento associado às carapaças de invertebrados. Também foram observados cristais romboédricos de dolomita espática preenchendo as bordas de poros primários e secundários, por vezes formando franjas hipidiótópicas. A porosidade desta rocha é preferencialmente primária (10-15%), cujos poros estão associados à morfologia dos organismos construtores como *growth framework*, ou organismos escavadores como *boring* (Figura 5.3-1). Também foram reconhecidos poros fenestrais, vulgares e raros móldicos de carapaças de bivalvíos. Os

elementos bioconstrutores são representados dominantemente por algas, corais e poríferos, todos compostos por calcita microcristalina marrom escura e textura maciça (Figura 5.3-2).

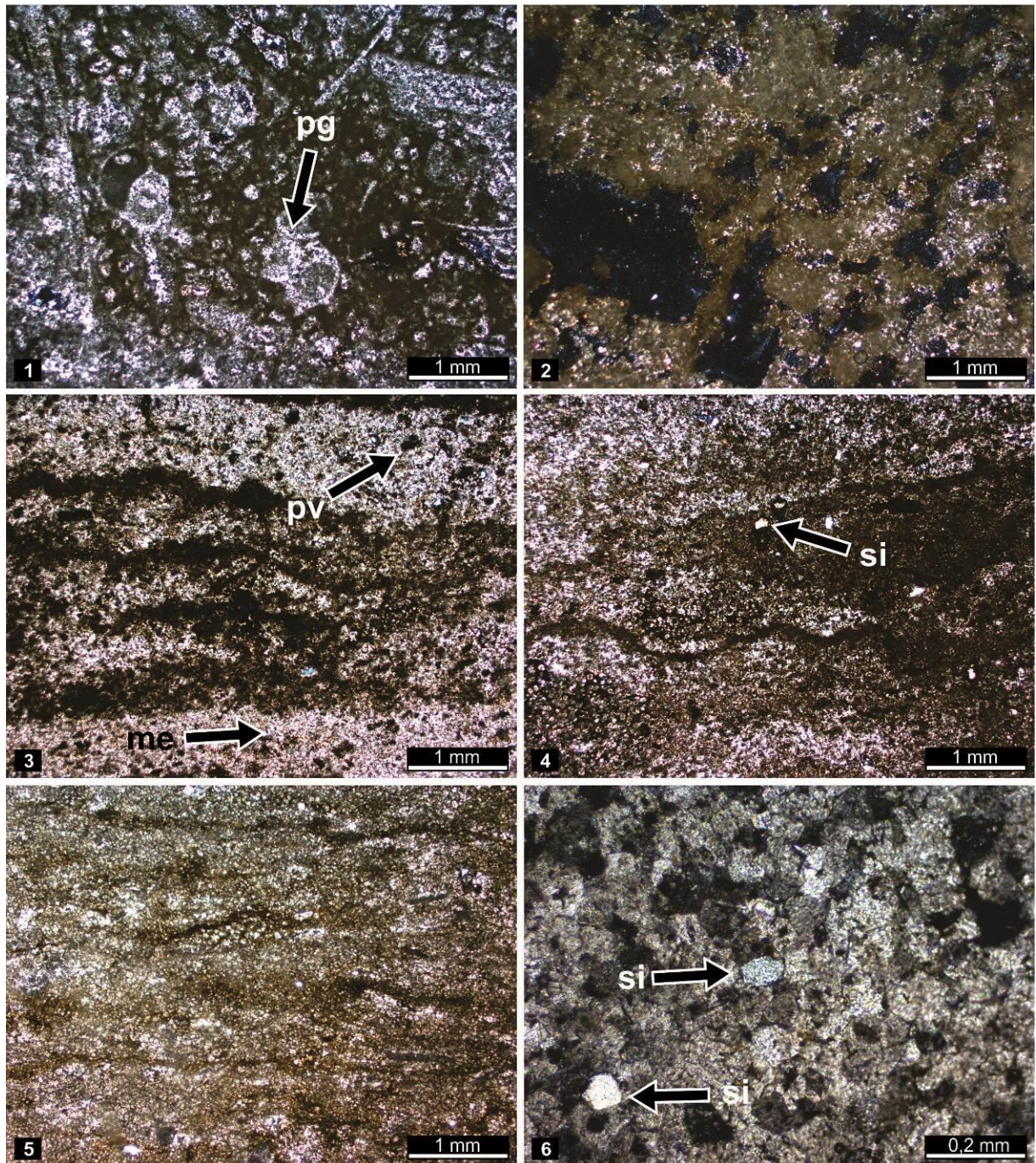


Figura 5.3- 1. *Doloframestone*- poros *growth framework* (pg) associados à morfologia de algas rodófitas preenchidos por cimento carbonático; 2. *Doloframestone*- matriz micrítica biogênica altamente porosa formada pela atividade de organismos bioconstrutores como algas e corais; 3. *Dolobindstone* peloidal- alternância entre laminações algálicas incrustantes peloidais e cimento microesparítico identificado pela coloração esbranquiçada (me), com presença de pequenos poros vulgares subordinados (pv); 4. *Dolobindstone* peloidal- grãos siliciclásticos (si); 5. *Dolomudstone* com terrígenos- alternância entre laminações irregulares e matriz micrítica dolomitizada; 6. *Dolomudstone* com terrígenos- grãos siliciclásticos (si) representados por quartzos monocristalinos subarredondados a arredondados, imersos em domínios intensamente dolomitizados, formados por cristais de dolomita.

Observações: Esta microfácies ocorre nos corpos Tabatinga (EDI-CT-02, EDI-CT-03), Coqueirinhos (EDI-CCQ-07, EDI-CCQ-08A, EDI-CCQ-08B) e Tambaba (EDI-CTB-01, EDI-CTB-02, EDI-CTB-03, EDI-CTB-04, EDI-CTB-05), sendo que os carbonatos de Tambaba apresentam maior abundância de fragmentos de corais e maior tamanho dos restos esqueletais, e os do corpo recifal Tabatinga são diagnosticados pela maior quantidade de icnofósseis, e consequentes porosidades biológicas *boring*.

#### D. Biolitito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolobindstone* peloidal (Embry & Klovan, 1971)

Esta microfácies é definida por arcabouço sustentado por laminações algálicas incrustantes (20-25%) alternadas com matriz peloidal micrítica maciça (50-55%), constituintes aloquímicos (10-15%) e grãos terrígenos (2-5%).

Os níveis de matriz peloidal micrítica são definidos por lama carbonática neomorfizada para microesparito e pelotas fecais micríticas de coloração marrom escura, sem estruturação interna definida, granulometria areia muito fina à fina e textura grumosa (Figura 5.3-3). Também foram reconhecidos diminutos cristais romboédricos e incolores de dolomita espática em textura idiotópica, bem como pequenos cristais de calcita espática substituindo o interior de romboedros de dolomita, caracterizando fases tardias de dedolomitização. Os grãos siliciclásticos são quartzos e feldspatos moderadamente a bem selecionados, subarredondados e granulometria variando de areia muito fina a fina, distribuídos homogeneamente na rocha (Figura 5.3-4). A porosidade é muito baixa (2-3%), com poros predominantemente vulgares e intergranulares não ultrapassando mais do que 0,02 mm de diâmetro.

Os bioclastos são pouco frequentes, representados por laminações algálicas, fragmentos de bivalvíos, gastrópodes e algas, com carapaça neomorfizada para microesparito e morfologia básica preservada devido ter sido envolvida por envelopes micríticos.

Observações: Esta microfácies tem ocorrência restrita ao corpo Tambaba (lâminas EDI-CTB-06, EDI-CTB-07).

#### 5.1.2.2 Superfície de Superposição Recifal

A. Biomicrito dolomitizado com terrígenos (Folk, 1974) / *Dolomudstone* com terrígenos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)

A análise petrográfica definiu a microfácies *dolomudstone* com terrígenos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971), formada por laminações suavemente onduladas a irregulares e

arcabouço sustentado por micrito dolomitizado (80-90%), com textura e composição homogênea (Figura 5.3-5). Os constituintes aloquímicos são pouco representativos, incluindo restos esqueléticos (2-4%) e grãos terrígenos (6-8%), sendo estes últimos possíveis elementos dos fluxos de sedimentos detríticos trazidos pela ação de ondas em períodos de oscilações do nível do mar.

O micrito compõe uma lama carbonática de coloração marrom clara, neomorfizado para microesparito branco amarelado com faces cristalinas límpidas. A matriz micrítica apresenta-se intensamente dolomitizada, com formação de cristais idiotópicos, romboédricos e incolores de dolomita espática com granulometria variando de areia muito fina a média, por vezes formando contatos côncavo-convexos entre si. Também foram reconhecidos cristais de dolomita espática substituindo franjas de calcita em fragmentos de fósseis corpóreos e preenchendo o seu interior, além de terem sido observadas porosidades secundárias, sugerindo alta circulação de fluidos durante as fases diagenéticas. Os grãos terrígenos variam de areia muito fina a fina, e são os constituintes aloquímicos mais abundantes, representados por cristais subarredondados a arredondados de plagioclásio com maclamento albita, feldspato potássico com maclamento *carslbade* reliquiar e quartzo monocristalino (Figura 5.3-6). A grande contribuição siliciclástica em construções recifais pode indicar maior exposição das mesmas e consequente aumento da influência continental. A porosidade desta rocha é representada por poros vulgares milimétricos (5-8%) de origem secundária. Os bioclastos também são pouco abundantes, representados por fragmentos obliterados de gastrópodes, bivalvíos e outros grupos indiferenciados, sugeridos pela preservação do envelope micrítico de coloração marrom escura.

Observações: Esta microfácies foi descrita nos corpos Jacumã-Carapibús (EDI-CJ-03A, EDI-CJ-03B, EDI-CJ-03C), Tabatinga (EDI-CT-05) e Coqueirinhos (EDI-CCQ-06), e correlacionada ao corpo Tambaba.

#### 5.1.2.3 Flancos recifais

A. Biointramicrito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolorudstone* com intraclastos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)

A descrição petrográfica definiu a microfácies *dolorudstone* (Figura 5.4-1) com intraclastos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971), com arcabouço sustentado por intraclastos de *dolomudstone* fossilífero (50-60%) e fragmentos de fósseis corpóreos (10-

15%) imersos em matriz micrítica dolomitizada (25-40%), correspondendo à parte proximal das zonas adjacentes aos núcleos recifais, com sedimentos transportados pela ação de fluxos gravitacionais (Davis Jr., 1983).

O micrito evidencia transporte pouco significativo ou ausente, e está representado por lama carbonática de coloração marrom clara, neomorfizado para microesparito de coloração amarelo âmbar. Apresenta-se recristalizado e dolomitizado devido à formação de cristais romboédricos, incolores e idiotópicos de dolomita, com dimensões variando entre 0,2 a 0,6 mm e duas direções de clivagens bem visíveis. A dolomita também ocorre sob a forma de mosaicos de dimensões milimétricas que contornam os intraclastos de *dolomudstones*, por vezes adentrando-se na estrutura destes constituintes devido à sua dissolução, e gerando contatos irregulares com a matriz (Figuras 5.4-2 e 5.4-3). A litofácies em tela apresenta porosidade média a alta, principalmente associado à presença de grãos mal selecionados e subangulosos. São observados poros fenestrais e intergranulares, de origem deposicional, mais abundantes e com maiores diâmetros, e poros vugulares e intercristalinos, de origem diagenética, menos frequentes e com diâmetros inferiores. Os grãos siliciclásticos são materiais sinsedimentares pouco frequentes (1-2%), representados por grãos isolados de feldspato alterado nas bordas para carbonato, e quartzo monocristalino subarredondado, tipificando a baixa influência de sedimentos detríticos e maior influência de sedimentos carbonáticos biogênicos nas zonas de flancos recifais.

Os materiais esqueléticos são de granulometria variando entre areia fina a areia grossa, sendo mal selecionados, pouco frequentes, devido aos processos diagenéticos e intempéricos sofridos pela rocha, e micritizados, com formação de envelopes de calcita microcristalina de coloração marrom escura.

Os intraclastos são *dolomudstones* fossilíferos subcirculares a subangulosos, mal selecionados, de coloração marrom alaranjada e granulometria variando entre areia média e cascalho, representando os sedimentos mais característicos de ambientes de alta energia como os recifais segundo Davis Jr. (1983), e considerados como fragmentos carbonáticos que foram erodidos e redepositados na mesma sequência deposicional em que foram formados. A matriz micrítica destes intraclastos encontra-se dolomitizada, com formação de domínios de dolomita equigranular em textura idiotópica. Os materiais esqueléticos encontram-se disseminados no interior dos *dolomudstones*, sendo pouco preservados. Estes intraclastos correspondem a detritos carbonáticos que constituem o fluxo biogênico inconsolidado da zona distal dos

flancos recifais, com sedimentos derivados do recife por meio de colapsos e correntes (Davis Jr., 1983).

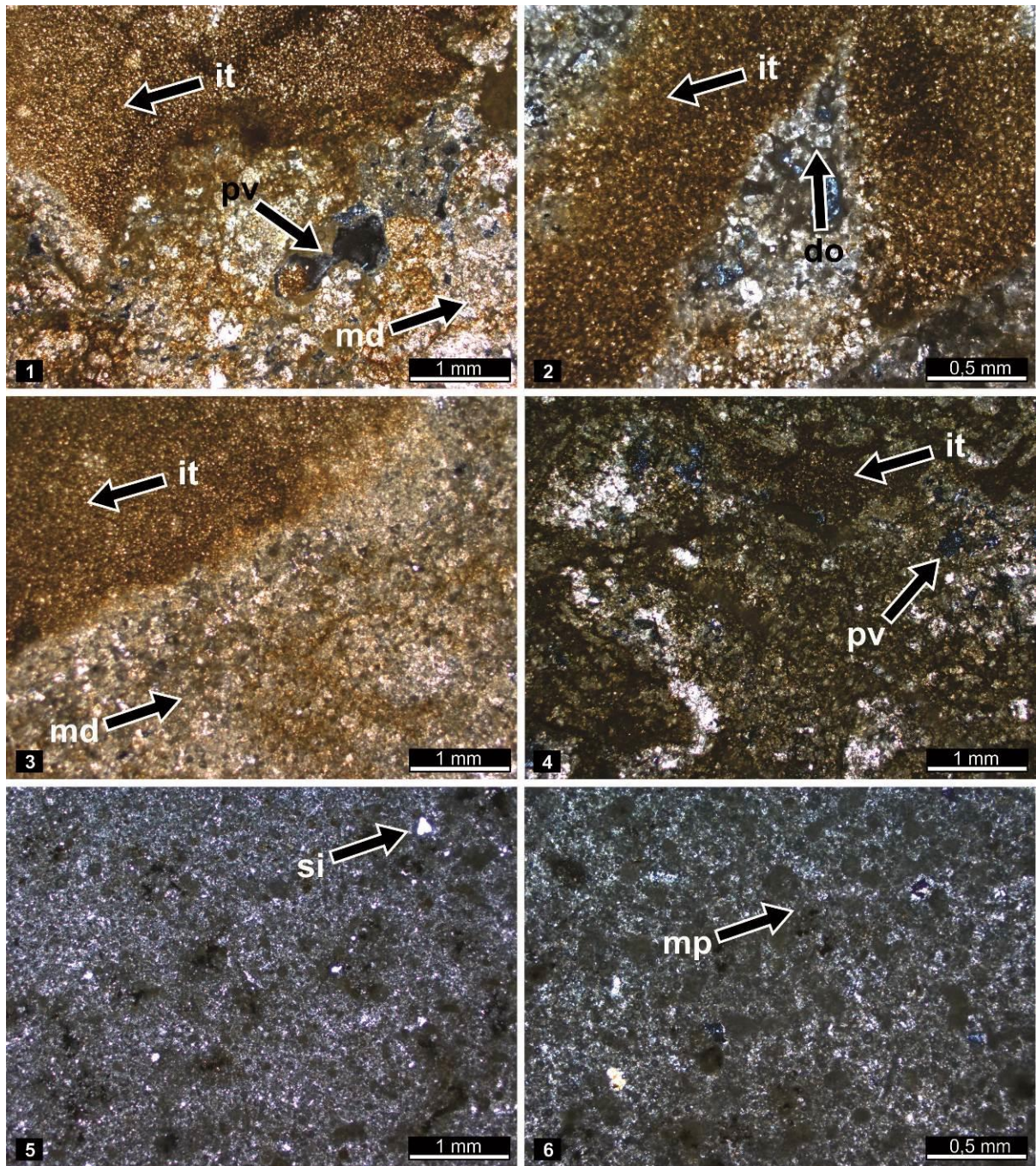


Figura 5.4- 1. *Dolorudstone* com intraclastos- matriz dolomitizada (md), intraclasto (it) e poros vugulares (pv); 2. *Dolorudstone* com intraclastos- cristais de dolomita (do) contornando e adentrando-se na estrutura do intraclasto devido a sua dissolução (it); 3. *Dolorudstone* com intraclasto- contato irregular e difuso entre o intraclasto (it) e matriz dolomitizada (md); 4. *Dolofloatstone* com intraclasto- arcabouço sustentado por micrito e presença subordinada de intraclastos (it) e poros vugulares (pv); 5. *Dolowackestone* peloidal fossilífero- arcabouço sustentado por matriz micrítica e presença subordinada de pequenos grãos siliciclásticos (si); 6. *Dolowackestone* peloidal fossilífero- matriz peloidal (mp) com textura grumosa.

Observações: Esta microfácies foi descrita no corpo Jacumã-Carapibús (lâminas EDI-CJ-07B, EDI-CJ-07D), mas também foi reconhecida nos calcários do corpo Coqueirinhos.

B. Biointramicrito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolofloatstone* com intraclastos (Dunham, 1962; Embry & Klován, 1971)

A descrição petrográfica caracterizou a microfácies *dolofloatstone* com intraclastos (Dunham, 1962; Embry & Klován, 1971), com arcabouço sustentado por micrito (6-75%) e variações composicionais devido à presença de intraclastos de *dolomudstone* fossilífero (10-25%) e somatofósseis (10-15%). Esta rocha (Figura 5.4-4) apresenta aspectos texturais e descritivos similares à microfácies *dolorudstone* com intraclastos, principalmente em relação aos caracteres associados à matriz, porosidade e grãos terrígenos. As diferenças consistem no maior grau de seleção e menor quantidade e diâmetro dos intraclastos e fragmentos de fósseis corpóreos presentes nos *dolofloatstone* com intraclastos, correspondendo aos fluxos recifais finos contíguos aos núcleos recifais. Esta região representa a porção com mergulho deposicional mais profundo, incluído também no estilo de acumulação carbonática deste ambiente.

Observações: Esta microfácies foi descrita no corpo Jacumã-Carapibús (lâminas EDI-CJ-07B, EDI-CJ-07D), mas também foi reconhecida nos calcários do corpo Coqueirinhos.

### 5.1.3 Estágio Domínio

#### 5.1.3.1 Núcleo Recifal

A. Biopelmicrito dolomitizado (Folk, 1974) / *Dolowackestone* peloidal fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klován, 1971)

O exame petrográfico revelou a caracterização de uma única microfácies, *dolowackestone* peloidal fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klován, 1971), com arcabouço sustentado por micrito (50-70%), sem consideráveis variações texturais e composicionais. Os constituintes aloquímicos são frequentes, estando representados por moluscos e corais (5-10%), pelotas fecais (20-25%) e estruturas de bioturbação (Figura 5.4-5).

O micrito consiste em mosaicos uniformes de calcita microcristalina de coloração marrom clara, sustentando o arcabouço da rocha. A matriz micrítica apresenta-se neomorfizada para microesparito de coloração amarelo âmbar, que quando dissolvido forma poros móldicos e intercristalinos. O microesparito substitui porções da lama carbonática e forma domínios com aproximadamente 0,05 mm de comprimento. Também ocorrem cristais romboédricos, inequigranulares e hipidiotópicos de dolomita espática, preenchendo poros

intergranulares e intragranulares variáveis em dimensões de 0,03 a 0,06 mm (Figura 5.4-6). Os grãos siliciclásticos são pouco frequentes (1-2%), representados por cristais arredondados de quartzo monocristalino com extinção reta e granulometria areia fina. A ocorrência restrita destes componentes pode resultar de pulsos de sedimentação que interrompiam a exposição dos corpos recifais durante as oscilações positivas do nível do mar (Figura 5.4-5).

Os constituintes aloquímicos são compostos por somatofósseis e traços fósseis representados por pelotas fecais aparentemente confinadas gravitacionalmente nos interstícios, e estruturas de bioturbação.

Observações: Esta microfácies tem ocorrência restrita ao corpo Tambaba (lâminas EDO-CTB-08, EDO-CTB-09, EDO-CTB-10).

## 5.2 FÓSSEIS

Estes constituintes correspondem a fragmentos de poríferos, bivalvíos, gastrópodes e equinoides nas microfácies biomicrito dolomitizado, biopelmicrito dolomitizado e biointramicrito dolomitizado. Os bioclastos variam em dimensões entre 0,1 a 2 mm, são moderadamente selecionados e de granulometria areia muito fina a cascalho. Apresentam-se envolvidos por envelopes milimétricos de calcita microcristalina de coloração marrom escura, com ocasionais franjas de cimento, neomorfizados para microesparito/calcita espática ou substituídos por cristais de dolomita que preservam seu contorno geral. A baixa proporção de restos esqueléticos ao considerar o ambiente que esta rocha tipifica, provavelmente se dá devido às modificações sofridas pela rocha durante a diagênese e o intemperismo químico.

Os bioclastos mais abundantes nas rochas estudadas correspondem à laminações algálicas, registradas nas microfácies biolitito dolomitizado, biointramicrito dolomitizado e pelbiomicrito dolomitizado. Os organismos construtores ocorrem sob a forma de uma massa microcristalina (petrotrama *framestone*) ou como laminações algálicas e/ou coralíneas incrustantes (petrotrama *bindstone*), descontínuas, contíguas, onduladas e sub-paralelas entre si, ocasionalmente cimentadas por um agregado de óxidos/hidróxidos de ferro marrom avermelhados. Estas laminações são ricas em matéria orgânica, sob a forma de corpúsculos subcirculares, circulares, ovais e subelípticos, maciços, de coloração preta e dimensões médias de 0,2 mm. O aspecto maciço de *framestones* recifais (microfácies biolitito dolomitizado) é derivado principalmente da atividade algálica, compondo uma massa microcristalina, principal constituinte do núcleo de um recife (Flügel, 2010).

Nos corpos recifais Tabatinga e Tambaba tem-se laminações incrustantes, contínuas, irregulares, suavemente onduladas, de composição micrítica e coloração acinzentada, contornando a massa microcristalina maciça associada aos organismos construtores algálicos. Estas estruturas formam estruturas circulares a subelípticas, similares a oncóides, de até 4 cm de diâmetro e sem estruturação interna, tendo suas bordas preenchidas durante a diagênese por franjas hipidiotópicas de cristais romboédricos de dolomita. Estas laminações podem ser resultado da atividade tardia de organismos algálicos e/ou coralíneos incrustantes que utilizaram os organismos construtores maciços do recife como substrato para sua instalação.

Devido serem os elementos mais importantes nas bioconstruções recifais, foi realizado o estudo taxonômico de identificação destes grupos algálicos, detalhado a seguir.

### 5.2.1 Algas Calcáreas

As algas calcáreas são plantas aquáticas avasculares pertencentes a diferentes grupos sistemáticos, capazes de secretar ou depositar carbonato de cálcio em sua estrutura, e com importância fundamental na análise de microfácies carbonáticas por serem úteis em reconstruções paleoambientais e paleoecológicas. A análise destes constituintes aloquímicos em lâmina delgada apresenta limitações associadas principalmente à composição e alterações mineralógicas das rochas em análise, nas quais as aragoníticas são dissolvidas e substituídas por calcita espática durante a diagênese. A sua classificação sistemática está baseada na preservação das morfologias externas, tecidos internos e células reprodutivas. As algas calcáreas são as principais produtoras de sedimentos carbonáticos em ambientes marinho rasos, sendo o elemento mais comum na consolidação e gênese de recifes cenozóicos, com papel decisivo na construção do esqueleto recifal e cimentação dos bio e litoclastos (Wray, 1977; Flügel, 2010).

Foram reconhecidos alguns elementos de algas rodófitas e clorófitas distribuídos heterogeneamente entre os quatro corpos recifais, autóctones e mais abundantes nas microfácies biolitito dolomitizado dos seus núcleos. Nos flancos (zona de acúmulo de detritos) e superfícies de superposição, áreas não propícias para a manutenção da vida, estes bioclastos são pouco frequentes, muito fragmentados e alóctones, desagregados dos núcleos pelos processos destrutivos atuantes na dinâmica interativa dos depósitos sedimentares recifais.

### 5.2.1.1 Algas vermelhas

É o grupo mais abundante, variado e melhor preservado nos corpos recifais estudados, representados por restos corpóreos de elementos da ordem Corallinales, táxon cosmopolita, exclusivamente marinho com salinidade normal, euribatimétrico e dotado de esqueleto calcítico (Wray, 1977; Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).

Foram definidos três táxons incrustantes e maciços e um ereto e articulado, atribuídos a três gêneros. A classificação sistemática, as nomenclaturas morfológicas e os termos aplicados nas descrições foram definidos com base em Wray (1977), Scholle & Ulmer-Scholle (2003), Flügel (2010) e Guiry & Guiry (2017).

Divisão RHODOPHYTA Wettstein, 1910

Classe FLORIDEOPHYCEAE Cronquist, 1960

Ordem SPOROLITHALES Gall & Saunders, 2010

Família SPOROLITHACEAE Verheij, 1993

Gênero *Archaeolithothamnion* Rothpletz ex Foslie, 1898

*Archaeolithothamnion* sp.

Esteiras multi-camadas de incrustações algálicas contínuas sem distinção de peritalo e hipotalo, com presença de células reprodutivas, os esporângios, dispostas em filas por toda a estrutura do organismo, com contornos subelípticos a elípticos. Estrutura interna substituída por cimento de calcita espática e alta concentração de corpúsculos esféricos de matéria orgânica de coloração preta acinzentada (Figura 5.5-1).

Ordem CORALLINALES Silva & Johansen, 1986

Família CORALLINAEAE J.V. Lamouroux, 1812

Subfamília LITHOPHYLLOIDEA Setchell, 1943

Gênero *Lithophyllum* Philippi, 1837

*Lithophyllum* sp. A

Crosta incrustantes contínuas, irregulares e maciças de composição micrítica, que apresentam peritalo externo ventral responsável pelo crescimento vertical do talo, composto

por células acamadadas formando linhas espessas; e hipotalo interno dorsal, importante para o crescimento lateral do indivíduo, mal preservado, com células desordenadamente arranjadas e poros do tipo *growth framework*. Os conceptáculos, restritos ao peritalo, são pequenos, estreitos e com aberturas parcialmente preenchidas por calcita espática (Figuras 5.5-2 e 5.5-3).

*Lithophyllum* sp. B

Rodóides definidos por crostas múltiplas subcirculares a subelípticas com núcleos vazios a parcialmente preenchidos por cimento. Peritalo denso e laminado, conceptáculos concentrados nos segmentos superior e inferior, e hipotalo mal preservado, definido por micro-células com estrutura externa maciça e interna preenchida por cimento (Figuras 5.5-4 e 5.5-5).

Subfamília CORALLINOIDEAE Foslíe, 1908

Gênero *Jania* J.V. Lamouroux, 1812

*Jania* sp.

Fragmentos de seções longitudinais de algas articuladas, eretas, ramificadas e verticalizadas, com região medular composta por linhas sucessivas de células coaxiais ao eixo maior do talo, circundadas por delgadas zonas do córtex, constituídas por diminutas células perpendiculares às margens dos grãos (Figuras 5.5-6 e 5.6-1).

Além dos gêneros supracitados foi individualizado um morfotipo indiferenciado de algas vermelhas definido por seções longitudinais de células reticuladas dispostas em laminações paralelas finamente espaçadas coincidentes com o eixo maior e central do grão (Figura 5.6-2). A análise petrográfica também revelou a ocorrência de alguns grãos aloquímicos com estruturas morfológicas típicas de algas vermelhas *incertae sedis*, tais como *honeycomb*, presente em fragmentos de tecidos celulares densos e compactos definidos por cortes transversais de células subcirculares a poligonais sem orientação aparente, e a textura *boxwork* (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003) que consiste em micro-células poligonais que formam redes de diminutos tamanhos, por vezes diferenciadas por maiores quantidades de cimento de óxido/hidróxido de ferro, facilmente penetrado nas micro-estruturas derivadas da morfologia original do organismo algálico (Figuras 5.6-3 e 5.6-4).

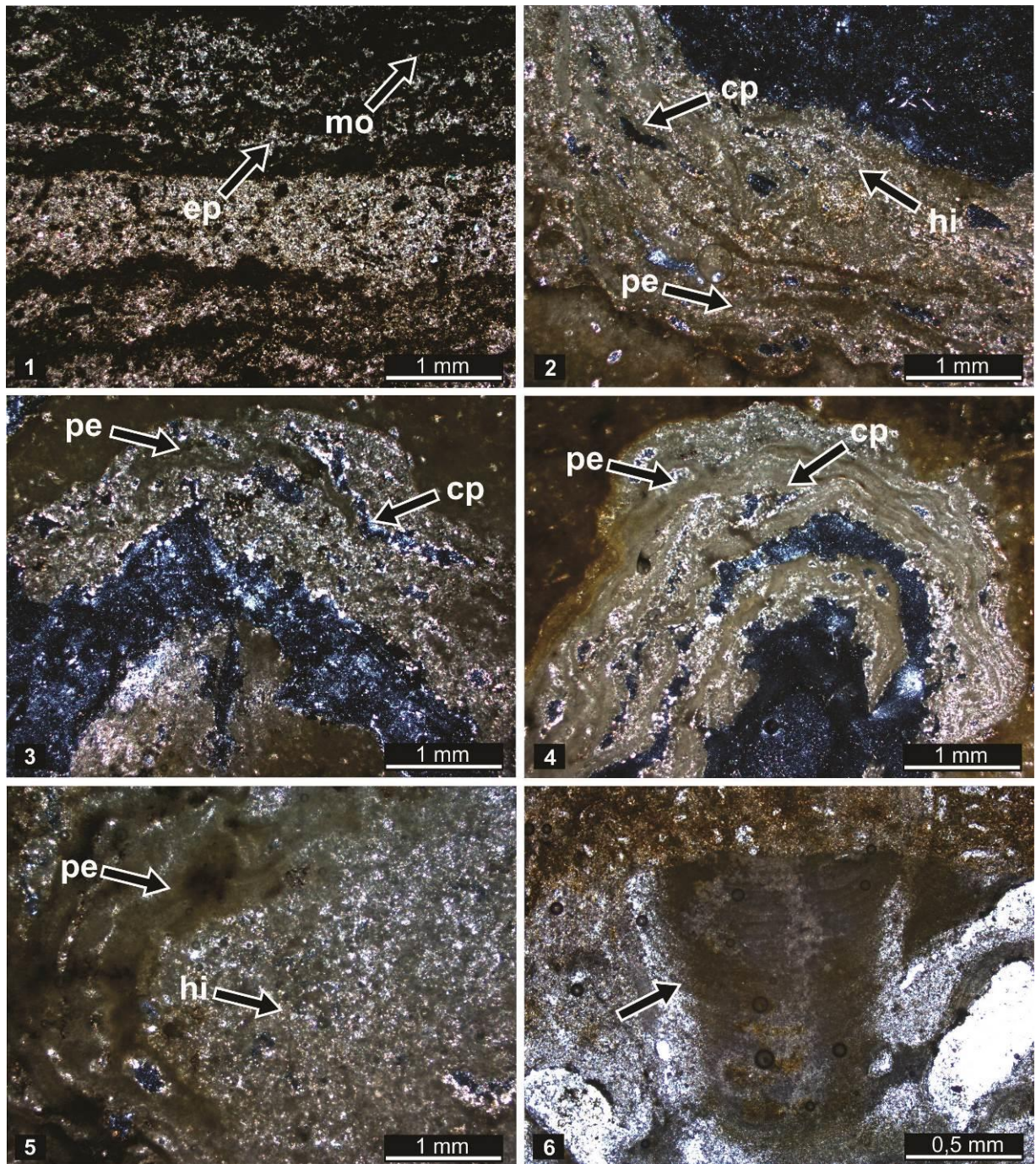


Figura 5.5- Constituintes aloquímicos fósseis na microfácies biolito dolomitizado: Algas rodófitas- 1. Fragmento de esteiras algálicas com destaque para os esporângios (ep) e níveis intercalados de matéria orgânica (mo) de *Archaeolithothamnion* sp.; 2,3. Fragmentos de crostas incrustantes micríticas de *Lithophyllum* sp. A com peritome (pe), hipotome (hi) e conceptáculos (cp); 4,5. Fragmentos de rodóides de *Lithophyllum* sp. B, mostrando as laminações do peritome (pe), hipotome maciço (hi) e conceptáculos (cp); 6. Fragmento do talo de *Jania* sp..

#### 5.2.1.2 Algas verdes

As clorófitas por sua vez estão distribuídas em todos os corpos recifais como fragmentos pouco calcificados de halimedáceos, táxon indicador de biótopos marinhos rasos com salinidade normal e clima tropical, cujos esqueletos aragoníticos são mais espessos

externamente, facilmente dissolvidos e substituídos no domínio diagenético (Wray, 1977; Hillis, 2000; Flügel, 2010).

Foram reconhecidos restos corpóreos e vestígios de elementos pertencentes ao gênero *Halimeda*, um ativo bioconstrutor de recifes que se diversificou no Paleoceno e a partir daí se tornou muito comum nas bioconstruções recifais da Região Caribeana até os dias atuais (Hillis, 2000). A classificação sistemática e os termos utilizados na descrição foram baseados em Wray (1977), Hillis (2000), Scholle & Ulmer-Scholle (2003), Flügel (2010) e Guiry & Guiry (2017).

Divisão CHLOROPHYTA Reichenbach, 1834

Classe ULVOPHYCEAE K. R. Mattox & K. D. Stewart, 1984

Ordem BRYOPSIDALES J.H. Schaffner, 1922

Família HALIMEDACEAE Link, 1832

Gênero *Halimeda* J.V.Lamouroux, 1812

*Halimeda* sp.

Fragmentos de talos tubulares, eretos, filamentosos e segmentação interna sutilmente preservada, envolvidos por envelopes micríticos. Utrículos da região medular paralelos ao maior eixo do talo. Região do córtex em padrão prismático a penado. Devido ao processo de neomorfismo da mineralogia original da rocha para calcita espática durante a diagênese, as feições morfológicas mais delicadas estão obliteradas (Figuras 5.6-5 e 5.6-6).

### 5.2.2 Poríferos

Os poríferos são elementos predominantemente marinhos e cosmopolitas, dotados de espículas aragoníticas, sendo secundários e biodestrutores nos recifes cenozoicos (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; Flügel, 2010). O táxon, reconhecido como fragmentos de elementos *incertae sedis* da classe Calcarea, ocorre na microfácies biolitito dolomitizado dos núcleos recifais como seções longitudinais da cavidade corporal de indivíduos recurvados, com paredes meandantes, cavernosas e câmaras preenchidas por matéria orgânica de coloração marrom escura e composição micrítica (Figura 5.7-1).

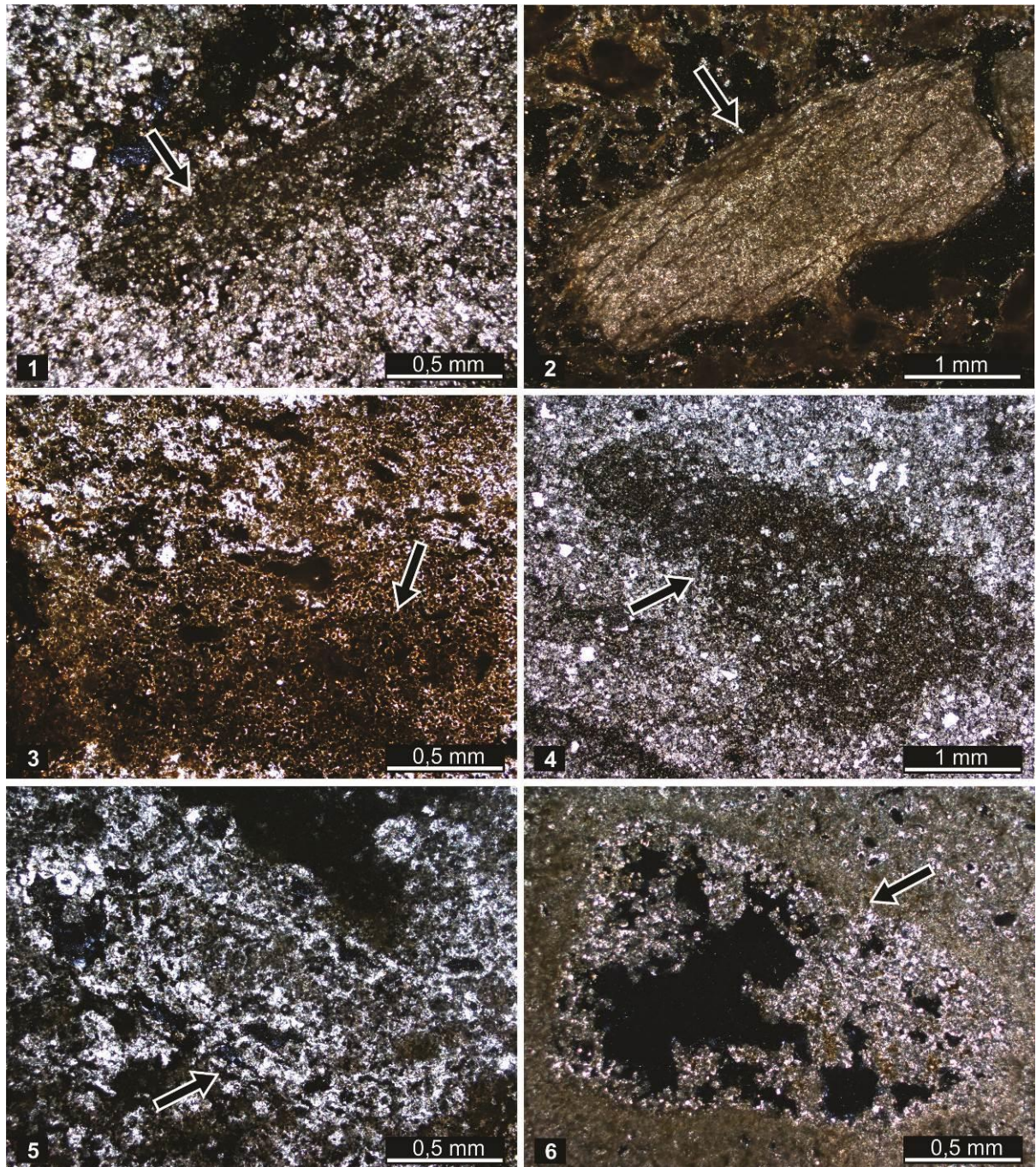


Figura 5.6- Constituintes aloquímicos fósseis na microfácies biolito dolomitizado: Algas rodófitas- 1. Fragmento do talo de *Jania* sp.; 2. Fragmento de uma seção longitudinal do morfotipo definido por seções longitudinais de células reticuladas dispostas em laminações paralelas; 3. Fragmento de alga vermelha com estrutura *honeycomb*; 4. Fragmento de alga vermelha com textura *boxwork*; Algas clorófitas- 5,6- Fragmentos de talos de *Halimeda* sp. envolvidos por envelopes micríticos.

### 5.2.3 Corais

Os corais são importantes bioconstrutores recifais de zonas tropicais e sub-tropicais do Cenozóico, predominantemente representados pelas formas hermatípicas, simbiotes com algas vermelhas, que lhes trazem como principais vantagens fisiológicas o aumento da velocidade

do metabolismo, potencialização da calcificação e maior concentração/reciclagem de nutrientes, favorecendo seu crescimento e diversificação (Wells, 1956; Flügel, 2010).

Este grupo ocorre principalmente nos corpos recifais de Coqueirinhos e Tambaba, estando representado por fragmentos de corais escleractíneos, possivelmente do gênero *Caulastraea*, na microfácies biolitito dolomitizado do núcleo recifal. Apesar de muito alterados devido à dissolução da carapaça aragonítica no domínio diagenético, está preservada a estrutura das paredes septotecadas preenchidas por cimento de óxido/hidróxido de ferro de coloração alaranjada e os septos lisos, contíguos e recurvados, com sulcos interseptais preenchidos por cristais hipidiotópicos de calcita espática derivada do neomorfismo da epiteca (Figuras 5.7-2 e 5.7-3).

#### 5.2.4 Moluscos

Os moluscos são organismos predominantemente marinhos, euribatimétricos, eurihalinos e cosmopolitas, dotados de esqueleto predominantemente aragonítico. O grupo é um importante elemento bioconstrutor nos ambientes recifais, devido seus restos inteiros ou fragmentados (biodebritos) serem os principais constituintes do fluxo biogênico inconsolidado, que por meio dos fluxos gravitacionais e correntes acumulam-se e desenvolvem os flancos recifais (Flügel, 2010). O táxon, reconhecido por meio de fragmentos de gastrópodes e bivalvíos, ocorre principalmente nas microfácies pelbiomicrito dolomitizado e biomicrito dolomitizado do estágio diversificação do recife.

Os fragmentos de gastrópodes são de indivíduos de espira alta com esqueleto neomorfizado para calcita espática com baixo teor de magnésio, e microestruturas lamelares paralelas entre si nas voltas (Figuras 5.7-4 e 5.7-5). Os bivalvíos ocorrem como fragmentos lisos e recurvados preenchidos por cimento carbonático, provavelmente correspondendo a estágios ontogenéticos entre duas linhas de crescimento (Figuras 5.7-6 e 5.8-1).

#### 5.2.5 Equinóides

Os equinóides são marinhos, epibentônicos vágeis e abundantes em substratos rochosos, biodestrutores comuns nos ecossistemas recifais pós-paleozóicos e cosmopolitas. Dotados de esqueleto composto por calcita magnesiana, sua microestrutura é definida por cristais arranjados em uma rede porosa e tridimensional (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003; Flügel, 2010).

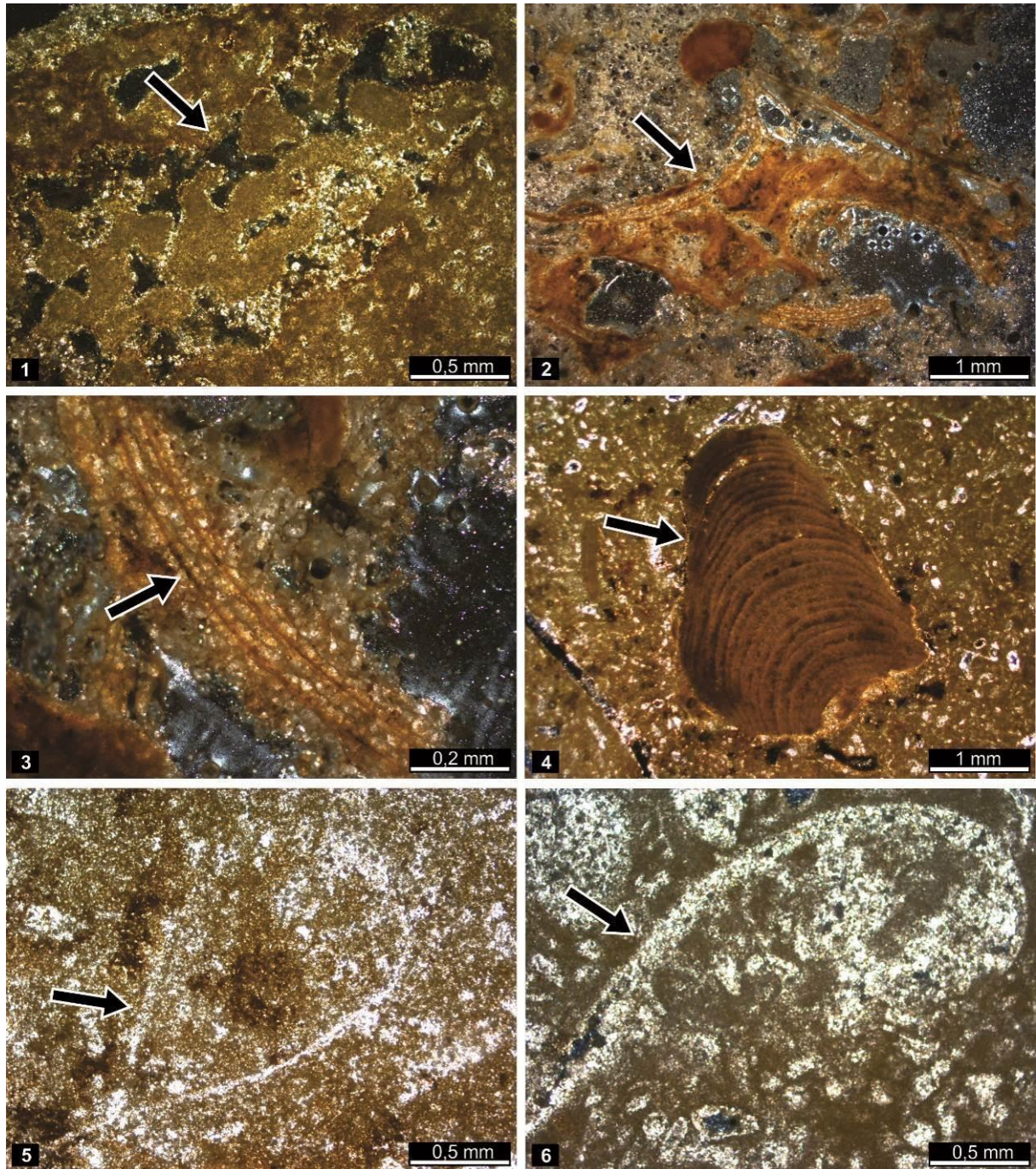


Figura 5.7- Constituintes aloquímicos fósseis na microfácies biolito dolomitizado: 1. Fragmento de uma seção longitudinal da cavidade corporal de porífero *incertae sedis*; 2- Fragmento de parede septotecada de um coral preenchida por cimento de óxido/hidróxido de ferro; 3- Fragmento septal e sulcos interseptais de um coral preenchidos por calcita espática; 4- Fragmento de concha de gastrópode com microestruturas lamelares paralelas entre si nas voltas; 5- Fragmento de concha de gastrópode neomorfizada para calcita espática; 6- Fragmento de concha de um bivalvío preenchido por cimento carbonático.

Foram identificados principalmente na microfácies biolito dolomitizado, fragmentos *incertae sedis* de equinóides regulares representados por seções transversais circulares a subcirculares, e longitudinais de espinhos e placas esqueléticas isoladas. As seções transversais apresentam região medular com estereoma micrítico parcialmente neomorfizado para microesparito, e região do córtex dissolvida definindo porosidade intrapartícula, enquanto nas

seções longitudinais observam-se a região anelar e o eixo maior finamente granulado (5.7-2 e 5.7-3). As placas exibem microestrutura porosa do tipo *meshwork*, circundadas por franjas hipidiótópicas de cimento (Figura 5.7-4).

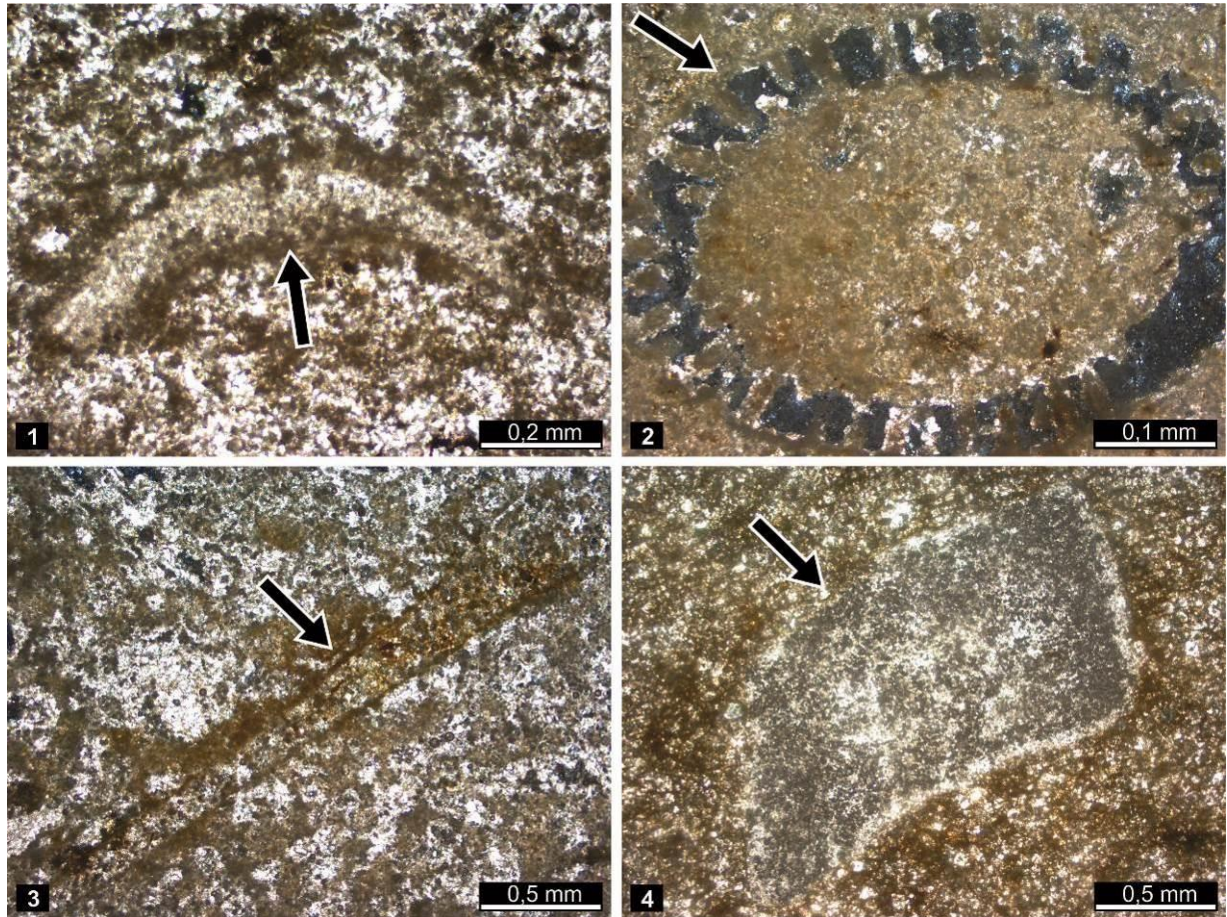


Figura 5.8- Constituintes aloquímicos fósseis: 1- Fragmento de concha de um bivalvío com envelope micrítico (microfácies pelbiomicrito dolomitizado); 2- Seção transversal circular de um espinho de equinóide (microfácies biolitito dolomitizado); 3- Fragmento de uma seção longitudinal de um espinho de equinóide (microfácies biolitito dolomitizado); 4- Placa esquelética isolada com microestrutura *meshwork* de equinóide (microfácies pelbiomicrito dolomitizado).

#### 5.2.6 Traços Fósseis

Os traços fósseis ocorrem tanto na microfácies biopelmicrito dolomitizado do estágio domínio de acreção recifal do núcleo, quanto na microfácies biolitito dolomitizado, do estágio diversificação, também reconhecida no núcleo recifal.

Considerados como um dos mais frequentes constituintes dos depósitos orgânicos, as pelotas fecais aparentemente estão confinadas gravitacionalmente nos interstícios, ocorrendo como agregados micríticos, de coloração marrom clara a escura e granulometria variando entre areia muito fina e média. Estes grãos são ovais, circulares, subcirculares, subarredondados ou elípticos, moderadamente a bem selecionados, parcialmente achatados e

sem estruturação interna reconhecível. Também ocorrem elementos pontiagudos e retilíneos com até 6 mm de comprimento e coloração marrom alaranjada, preenchidos por lama carbonática pouco a parcialmente dolomitizada. Formam domínios com textura grumosa, por vezes apresentando feições de dissolução preferencial em seu interior, com tonalidades mais escuras do que as da matriz micrítica (Figura 5.9-1).

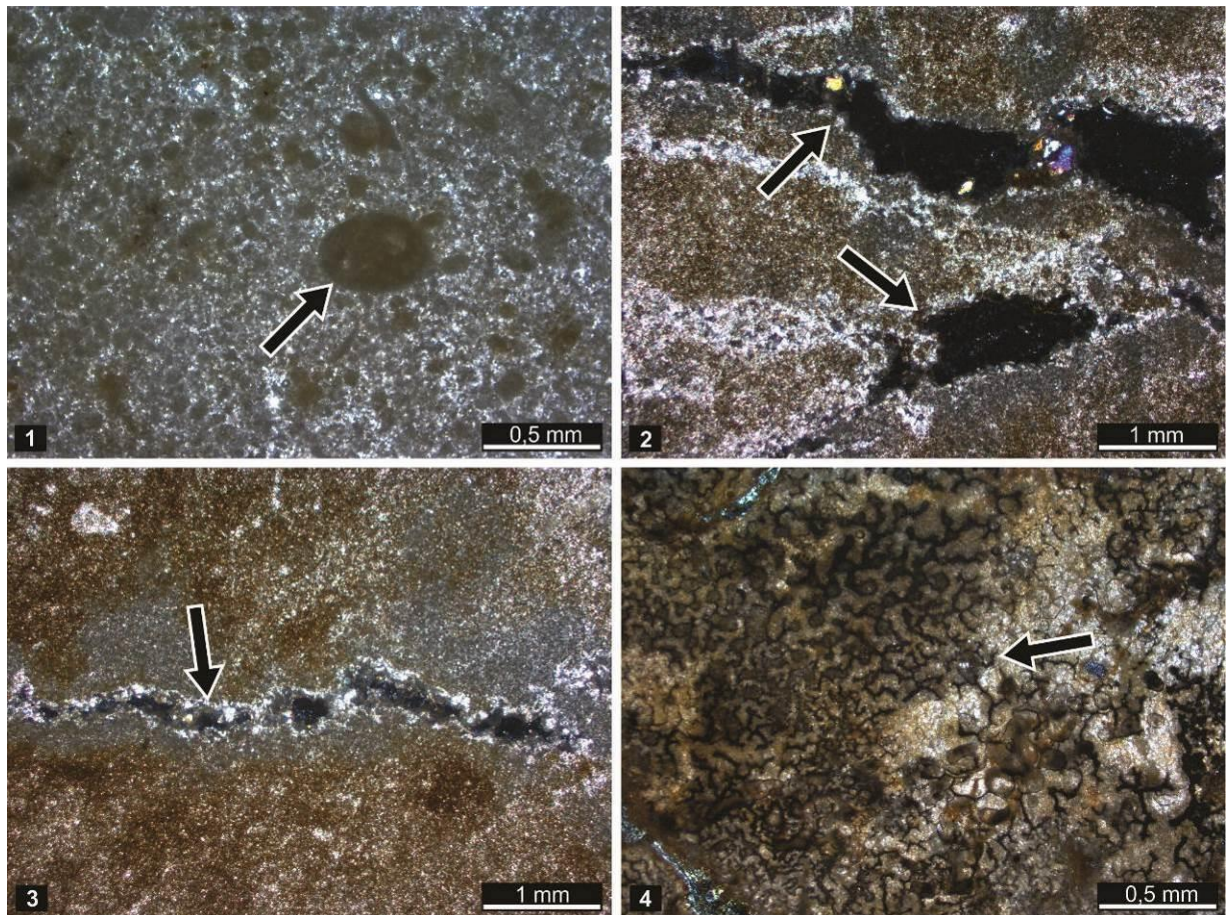


Figura 5.9- Constituintes aloquímicos fósseis: 1. Pelotas fecais: grãos ovais a circulares sem estruturação interna (microfácies biopelmicrito dolomitizado); 2,3. Microtubos: estruturas alongadas com terminações irregulares e preenchidos por infiltração de lama carbonática (microfácies pelbiomicrito dolomitizado); 4. Atividade de fungos e bactérias (microfácies biolitito dolomitizado).

O outro grupo de icnofósseis, registrado nas microfácies biolitito dolomitizado (estágio diversificação do núcleo recifal) e biopelmicrito dolomitizado (estágio domínio do núcleo recifal), está diretamente associado à abundância de porosidade primária como resultado da ação de organismos escavadores (poros *boring*), que ao erodirem a matriz micrítica constroem tubos irregulares, ocasionalmente interligados e recurvados (Figuras 5.9-2 e 5.9-3). Estas estruturas são de bioturbação, representadas por microtubos (modificação biogenética dos sedimentos) com terminações irregulares e preenchidos por infiltração de

lama carbonática após a passagem de organismos, o que sugere a colonização da matéria orgânica presente no ambiente imediatamente após a sua deposição.

Por fim foram reconhecidas evidências de atividade de fungos e bactérias, que atestam imediata colonização da matéria orgânica durante sua degradação e deposição no ambiente sedimentar (Figura 5.9-4). Estes traços fósseis supradescritos caracterizam o primeiro domínio diagenético, a eodiagênese (Boggs Jr., 2006).

## 6 TECTÔNICA E RECONSTRUÇÃO PALEOAMBIENTAL

Os depósitos carbonáticos da Formação Tambaba apresentam marcada pluralidade faciológica, definida basicamente por uma alternância entre espessos níveis de calcários com variado conteúdo icnofossilífero, e delgados níveis de *hardgrounds* retos a suavemente ondulados e finamente laminados.

O arranjo espacial destas rochas foi fortemente controlado por tectônica rúptil, definida por falhas e fraturas com trama preferencial NE-SW a E-W e subordinadamente NW-SE, que coincide com as famílias de falhas reativadas do embasamento, falhas normais e de transferência, atribuídas como os elementos estruturais dominantes na evolução da Bacia da Paraíba (Barbosa *et al.* 2007; Lima *et al.* 2016).

O contexto tectônico, a geometria dos quatro corpos recifais alongados e orientados segundo a direção N-S (Figura 6.1), e a ciclicidade na sequência litofaciológica, permitem enquadrar o modelo deposicional da Formação Tambaba como típico de tectônica extensional descrito por Leeder & Gawthorpe (1987), ressaltando-se que as oscilações do nível do mar são influenciadas pelo balanço entre os movimentos isostáticos e a taxa de sedimentação.

Esta delgada sequência foi formada em plataforma rasa em condições de baixo influxo de terrígenos durante um pulso transgressivo no estágio de estabilização do nível de base na posição mais baixa do nível do mar em sistema de trato de mar baixo, e que segundo Correia Filho *et al.* (2015) podem marcar um novo evento de retomada da sedimentação marinha após o evento erosivo que afetou o topo da Formação Gramame e o pacote Maria Farinha.

A deposição dos espessos níveis de calcários está associada com períodos de subsidência do teto do hemigráben, cuja instalação de sedimentação marinha e clima quente típico das regiões equatoriais, ocasionou o desenvolvimento de uma rampa carbonática que consistia em uma margem topograficamente mais alta, propiciando a formação de recifes.

Os quatro corpos recifais definem um sistema de recife em franja (Figura 6.2), reconhecidos pela associação paleontológica dominada por algas rodófitas e clorófitas, e secundarizada por poríferos, corais, moluscos e equinóides, bem como pela sua morfologia definida por uma estrutura em malha, fusionada, rígida, compacta e resistente. Estas construções carbonáticas que incluem as microfácies pelbiomicrito, biomicrito e biolitito dolomitizados correspondem aos núcleos recifais. Ainda relacionada com os períodos de

subsidência está a microfácies intramicrito dolomitizado, que corresponde aos flancos recifais, regiões adjacentes ao núcleo recifal.

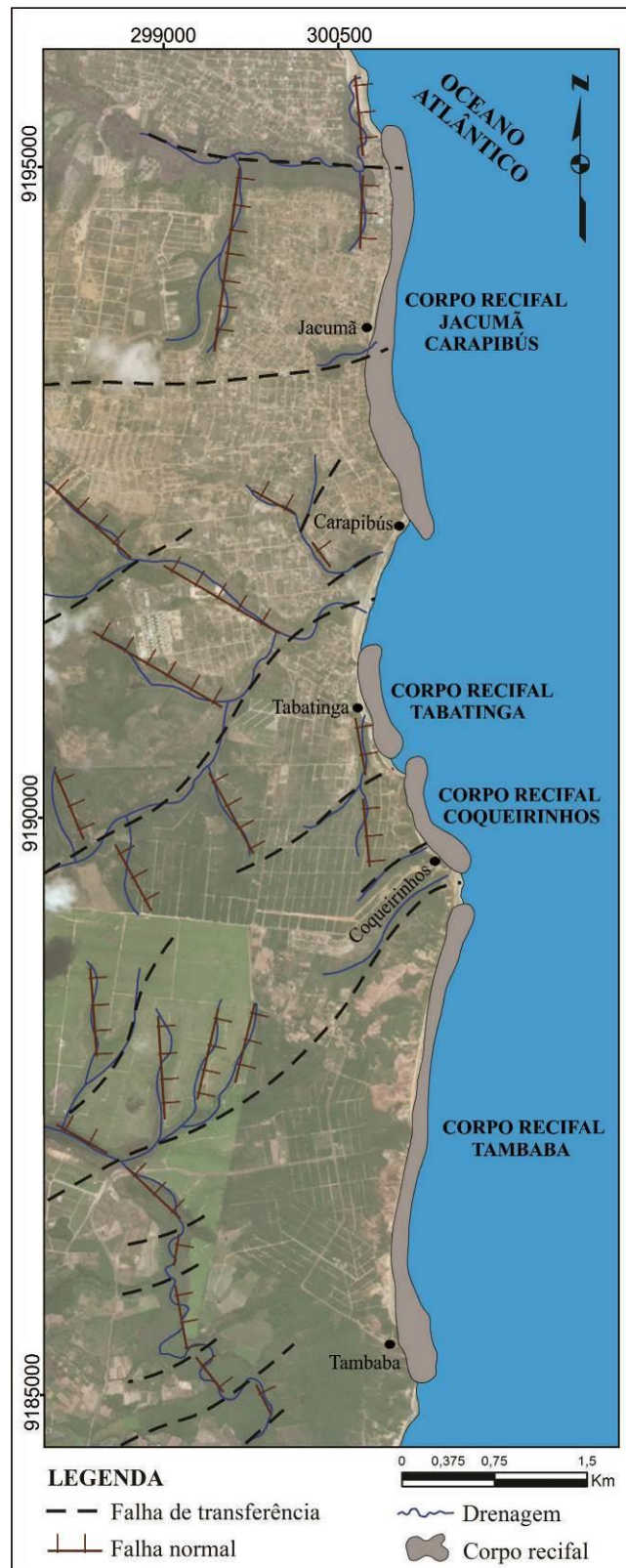


Figura 6.1- Mapa estrutural com a disposição das estruturas tectônicas (falhas normais e de transferência) fotointerpretadas a partir de dados bibliográficos e imagens digitais, e suas relações com os corpos recifais Jacumã-Carapibús, Tabatinga, Coqueirinhos e Tambaba.

Por outro lado, os delgados *hardgrounds*, caracterizados microfaciologicamente como biomicrito dolomitizado com terrígenos, associam-se aos períodos de soerguimento do teto do hemigráben. Com a diminuição da lâmina d'água, o desenvolvimento recifal é interrompido e a deposição se restringiu a estes níveis mais endurecidos.

Com a retomada da subsidência do bloco, novamente é possível a acreção recifal, que já reinicia no estágio diversificação. Assim, os *hardgrounds* podem ser interpretados como superfícies de superposição recifal, marcando gerações sucessivas de recifes, e definindo exatamente a ciclicidade típica dos sistemas deposicionais carbonáticos em tectônica extensional.

O reconhecimento da alternância entre os períodos de soerguimento e subsidência, e a espessura das rochas a eles relacionadas, sugerem que a duração destes eventos foi suficiente para a instalação e estabilização do padrão de sedimentação e de uma associação biótica em perfeita homeostasia.

A variação na concentração de galerias icnofossilíferas entre os corpos recifais pode estar relacionada com diferenças topográficas locais, que favoreceram maior extensão temporal entre um momento de subsidência e o consecutivo pulso de soerguimento.

O registro da microfácies biopelmicrito dolomitizado apenas no corpo Tambaba, e atribuída ao estágio domínio de acreção recifal, também parece estar relacionado com diferenças topográficas locais que propiciaram o desenvolvimento completo da última geração recifal do corpo Tambaba.

O reconhecimento do estágio colonização de acreção recifal apenas no corpo Tabatinga, e dos flancos recifais somente nos corpos Jacumã-Carapibús e Coqueirinhos, pode ser atribuído aos processos de erosão e sedimentação sazonais no ambiente praial onde aflora o sistema de recifes estudado, pois os horizontes relacionados ao estágio colonização e flancos recifais nos demais corpos podem estar recobertos pela areia devido à influência da energia das ondas.

Os paleoinvertebrados reconhecidos nas rochas estudadas provavelmente ocupavam as cavidades naturais existentes nos núcleos recifais, assim como ocorre atualmente. Os elementos bioconstrutores como os moluscos, bem como os biodestrutores poríferos e equinóides, viviam nestes refúgios espaciais, garantindo sua sobrevivência e proteção.

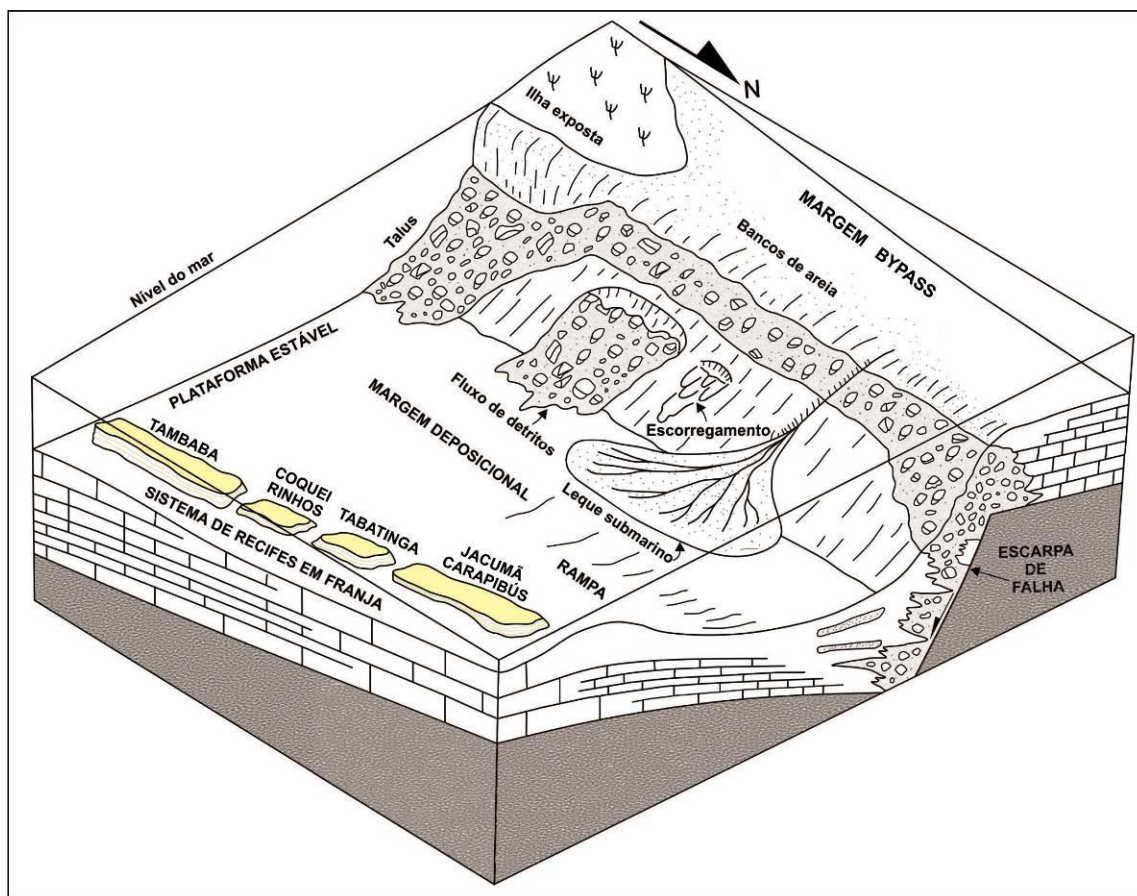


Figura 6.2- Bloco diagrama esquemático da reconstrução paleoambiental do sistema de recifes em franja, com a disposição dos corpos recifais, alinhados segundo a trama N-S, e desenvolvidos em uma rampa carbonática com margem topograficamente mais alta.

Fonte: Modificado de Leeder & Gawthorpe (1987).

Os processos diagenéticos de compactação mecânica, neomorfismo, dolomitização, dedolomitização, dissolução, recristalização, dissolução local do  $\text{CaCO}_3$  já precipitado nos poros e substituição de calcita por sílica afetaram a sua preservação, principalmente devido seus aspectos composicionais, microestruturais e de espessura. Este panorama é responsável pela ocorrência de uma oritocenose com reduzidos tamanhos de população.

Os poucos elementos preservados parecem ser autóctones, representando a composição taxonômica original de um recife que se desenvolve em plataformas carbonáticas de áreas submetidas à tectônica extensional. Nestas situações a fauna é especializada a adquirir o controle efetivo do ecoespaço em um curto intervalo de tempo, e por isso é uma associação distinta de ambientes recifais que se desenvolvem em áreas com estabilidade tectônica. A ocorrência dos corais escleractíneos *Caulastrea*, *Flabellum* e do bivalvío *Arcinella* no sistema de recifes em franja estudados, e suas características ecológicas peculiares de rápida ocupação, sugerem que a composição taxonômica da biocenose original não foi afetada significativamente.

## 7 CONCLUSÕES

O estudo geológico, petrográfico e paleoambiental dos calcários recifais da Formação Tambaba, Eoceno da Bacia da Paraíba, permitiu as seguintes conclusões:

- ▶ As rochas carbonáticas recifais desta unidade aflorantes na faixa costeira do município de Conde, a sul da cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba, ocorrem sob a forma de quatro bioconstruções alongadas e paralelas à linha de costa, denominadas Jacumã-Carapibús, Tabatinga, Coqueirinhos e Tambaba, com aspectos composicionais, texturais, paleontológicos e estratigráficos similares, constituindo um sistema de recifes em franja, controlado por reativações de falhas do embasamento, orientados segundo a direção N-S, e controlados por fraturas e falhas com *trend* preferencial NE-SW e E-W, e subordinadamente NW-SE;
- ▶ Os corpos recifais são litologicamente compostos por calcários maciços e acamadados, fortemente intemperizados, com aspecto ruiniforme e irregular, definidos macroscopicamente como litofácies *rudstone*, *bafflestone*, *framestone*, *boundstone* estratificado e *bindstone*, segundo Embry & Klovan (1971), e constituintes bióticos característicos;
- ▶ Os padrões geométricos e as relações estratigráficas permitiram reconhecer três estágios de acreção recifal, colonização (litofácies *bafflestone*), diversificação (litofácies *framestone*) e domínio (litofácies *bindstone*), que associados às superfícies de superposição recifal (litofácies *boundstone* estratificado) compõem o núcleo do recife, o mais importante estilo de acumulação carbonática deste depósito, definido por uma estrutura em malha, fusionada, rígida, compacta e resistente. A litofácies *rudstone*, por sua vez, corresponde aos flancos recifais, zona lateral e contígua ao núcleo, associada ao fluxo biogênico inconsolidado.
- ▶ A investigação paleontológica macroscópica mostrou assembléia fossilífera com baixa qualidade preservacional, possivelmente devido à ação de processos diagenéticos (dolomitização e dissolução) e intempéricos, impedindo uma caracterização sistemática mais detalhada. Foram identificados taxonomicamente apenas nove espécies, sendo quatro de corais escleractíneos, *Siderastrea conferta* (Duncan, 1863), *SIDERASTREIDAE incertae sedis*, *Caulastraea* sp. e *Flabellum* (*Flabellum*) sp., duas de bivalvíos, *Barbatia* sp. e *Arcinella* sp., uma de gastrópode, *Serratocerithium* sp., uma de alga rodófitas, *Lithophyllum* sp. e uma icnoespécie, *Ophiomorpha* icnosp.

- Os estudos petrográficos favoreceram a diferenciação dos calcários estudados em nove microfácies, nomeadas com base em seus aspectos deposicionais (Folk, 1971) e texturais (Dunham, 1962, Embry & Klovan, 1971), sendo uma no estágio colonização da construção recifal (biomicrito dolomitizado/*dolomudstone* fossilífero); sete no estágio diversificação, com quatro correspondentes aos núcleos recifais (pelbiomicrito dolomitizado/*dolowackestone* fossilífero, biomicrito dolomitizado/*dolopackstone* fossilífero, biolitito dolomitizado/*doloframestone* e *dolobindstone* peloidal), uma à superfície de superposição recifal (biomicrito dolomitizado com terrígenos/*dolomudstone* com terrígenos), e duas aos flancos recifais (biointramicrito dolomitizado/*dolorudstone* com intraclastos e *dolofloatstone* com intraclastos); e uma no estágio domínio (biopelmicrito dolomitizado/*dolowackestone* peloidal fossilífero);
- Os constituintes aloquímicos são frequentes e estão representados por fragmentos de algas calcárias (dominantes), poríferos, corais, bivalvíos, gastrópodes e equinoides. Também são comuns traços fósseis, onde foram reconhecidos pelotas fecais, estruturas de bioturbação e evidências de atividades de fungos e bactérias;
- O estudo taxonômico microscópico permitiu a identificação de quatro táxons de algas calcárias rodófitas, sendo três incrustantes e maciços (*Archaeolithothamnion* sp., *Lithophyllum* sp.A, *Lithophyllum* sp.B), um ereto e articulado (*Jania* sp.); e um táxon de alga calcária clorófita (*Halimeda* sp.), além de fragmentos *incertae sedis* de poríferos, corais, bivalvíos, gastrópodes e equinoides, todos reconhecidos predominantemente na microfácies biolitito dolomitizado do núcleo do recife;
- As feições diagenéticas observadas estão relacionadas à fases de compactação mecânica, dolomitização, dedolomitização, dissolução, recristalização e substituição de calcita por sílica, afetando a preservação dos constituintes bióticos e sendo responsável pela ocorrência de uma orictocenose com reduzidos tamanhos de população. A ocorrência dos corais escleractíneos *Caulastraea*, *Flabellum*, e do bivalvío *Arcinella* no sistema de recifes estudados, que apresentam características ecológicas peculiares de controle efetivo de ecoespaços em um curto intervalo de tempo, sugere que a composição taxonômica da biocenose original não foi afetada significativamente;
- O arranjo espacial e o controle estrutural de encaixe dos corpos recifais da Formação Tambaba e a ciclicidade na sequência litofaciológica identificada, permitem enquadrar o modelo deposicional desta unidade como típico de tectônica extensional descrito por Leeder

& Gawthorpe (1987), no qual a formação das rochas se deu em plataforma muito rasa sob condições de baixo influxo de terrígenos durante um pulso transgressivo.

► A deposição dos espessos níveis de calcários do núcleo recifal pode ser associada com períodos de subsidência do teto do sistema de hemigráben, cuja sedimentação marinha e clima quente típico das regiões equatoriais foram propícios para a formação de uma margem topograficamente mais alta em uma rampa carbonática, permitindo a formação dos recifes. Os delgados *hardgrounds* equivalentes às superfícies de superposição recifal se formaram nos períodos de soerguimento do teto, e com a retomada da subsidência o processo de acreção recifal se reiniciou já a partir do estágio diversificação, definindo gerações sucessivas de recifes, verticalmente caracterizando recifes superpostos;

► A variação na concentração de galerias icnofossilíferas entre os corpos e o registro do estágio domínio de acreção recifal apenas no corpo Tambaba podem estar relacionados com diferenças topográficas locais no bloco onde se instalaram os recifes. Já o reconhecimento do estágio colonização apenas no corpo Tabatinga, e dos flancos recifais nos corpos Jacumã-Carapibús e Coqueirinhos, podem indicar recobrimento nos demais corpos pela areia, devido à influência dos processos atuais de erosão e sedimentação sazonais costeiros, dominados pela ação das ondas.

## REFERÊNCIAS

- Al-Kahtany K.M. 2017. Facies development of the Middle Miocene reefal limestone in northwest Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, **130**: 134 – 140.
- Almeida J.A.C. 1989. *Geologia e aspectos paleontológicos da Folha Jacumã, Sub-bacia de Alhandra, Bacia Pernambuco-Paraíba*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 87 p.
- Almeida J.A.C. 2000. *Calcários recifais eocênicos da Formação Maria Farinha na Sub-Bacia de Alhandra, Paraíba*: aspectos taxonômicos, paleocológicos, paleoambientais e estratigráficos. DS Mestrado, Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 164 p.
- Almeida J.A.C. 2007. *Ícnofósseis de macrobioerosão na Bacia Paraíba (Cretáceo Superior – Paleógeno), Nordeste do Brasil*. TS Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 214 p.
- Amaral A.J.R., Menor E.A., Santos S.A. 1977. Evolução paleogeográfica da sequência clástica basal da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. In: 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. *Anais...* p. 37 – 63.
- Barbosa J.A. 2004. *Evolução da Bacia da Paraíba durante o maastrichtiano-paleoceno*: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. DS Mestrado, Pós-graduação em geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 230 p.
- Barbosa J.A., Viana M.S.S., Neumann V.H. 2006. Paleoambientes e icnofácies da sequência carbonática (Cretáceo e Paleógeno) da Bacia da Paraíba, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**: 73 – 90.
- Barbosa J.A., Neumann V.H., Lima Filho M., Souza E.M., Moraes M.A. 2007. Estratigrafia da faixa costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. *Estudos Geológicos*, **17**(2): 3 – 30.
- Baron-Szabo R.C. 2008. Corals of the K/T- boundary: Scleractinian corals of the suborders Dendrophylliina, Caryophylliina, Fungiina, Microsolenina, and Stylinina. *Zootaxa Monograph*, **1952**: 1 – 244.
- Beurlen K. 1959. *Observações sobre a Formação Maria Farinha, estado de Pernambuco*. Recife, UFPE. Departamento de Geologia, **1**: 5 – 15. (Arquivos de Geologia).
- Beurlen K. 1967a. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **16**(1): 43 – 53.
- Beurlen K. 1967b. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **16**(1): 73 – 79.
- Boggs Jr. S. (ed.). 2006. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. New Jersey, University of Oregon, 4. Ed. 662 p.

Brito-Neves B.B., Riccomini C., Fernandes T.M.G., Sant'Anna L.G. 2004. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: Um legado Proterozoico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(1): 127 – 234.

Budd A.F., Johnson K.G., Edwards J.C. 1889. Miocene coral assemblages in Aguilla, B.W.I., and their implications for the interpretation of vertical succession on fossil reefs. *Palaaios*, **4**: 264 – 275.

Budd A.F., Stemmann T.A., Johnson K.G. 1994. Stratigraphic distributions of genera and species of Neogene to Recent Caribbean reef corals. *Journal of Paleontology*, **68**: 951 – 977.

Buge E., Muniz G.C.B. 1974. *Lunilites (Heteractis) barbosae* nouvelle espèce de byzoaire lunilitiforme (Bryozoa, Cheilostomata) du Paléocène du Nord-Est du Brésil. *Annales de Paleontologie*, **2**: 191 – 202.

Cohen M.C.L., Nogueira A.C.R., Albuquerque M.S.B., Martins H.B., Sousa L.F.I. 2016. *Normas para editoração de dissertações e teses do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica – PPGG*. Belém, UFPA. Faculdade de Geologia, 28 p.

Córdoba V.C., Jardim de Sá E.F., Sousa D.C., Antunes A.F. 2007. Bacia de Pernambuco – Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2): 391 – 403.

Correia Filho O.J., Alencar M.L., Barbosa J.A., Neumann V.H. 2015. Proposta de formalização da Formação Tambaba, Eoceno da Bacia Paraíba, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, **25**(2): 61 – 81.

Costa J.B.S., Bemerguy R.L., Hasuy Y., Borges M.S. 2001. Tectonics and Paleogeography along the Amazon River. *Journal of South American Earth Sciences*, **14**(4): 335 – 347.

Cox L.R., Newell D.W., Branson R.C., Chavan A., Coogan A.H., Dechaseaux C., Fleming C.A., Haas F., Hertlein L.G., Kauffman E.G., Keen A.M., Larocque A., McAllester A.L., Moore R.C., Nuttall C.P., Perkins B.F., Puri H.S., Smith L.A., Soot-Ryen T., Stenzel H.B., Trueman E.R., Turner R.D., Weir J. 1971. Mollusca 3. In: Moore R.C. (ed.). *Treatise on invertebrate paleontology*, Part N, v. 1. The Geological Society of America and The University of Kansas Press, 952 p.

Davis Jr. R.A. 1983. Reefs and Carbonate Platform System. In: Davis Jr. R.A. (ed.). *Depositional systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc. p. 485 – 527.

Dolianiti E. 1955. Frutos de nipa no paleoceno de Pernambuco. *Boletim Divisão de Geologia e Mineralogia*, **158**: 7 – 36.

Duncan M. 1863. On the Fossil Corals of the West Indian Islands, Part I. *Quarterly Journal of the Geological Society*, **19**: 406 – 458.

Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **1**: 108 – 212.

Embry A.F., Klovan J.E. 1971. A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Bank Island, N.W.T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **19**(4): 730 – 781.

- Feijó F.J. 1994. Bacia Pernambuco-Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **8**(1): 143 – 148.
- Felix J. (ed.). 1995. *Fossilium Catalogus. I. Animalia. Pars 28. Anthozoa eocaenica et oligocaenica*. Berlin, W. Junk, 305 p.
- Fernandes A.C.S. 1978. Corais hermatípicos da Formação Maria Farinha, Paleoceno do estado de Pernambuco. In: 30º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife. *Anais...* **2**: 960 – 964.
- Fernandes A.C.S. 1979. Contribuição à Paleontologia do estado do Pará. Scleractinia da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) e suas implicações paleoecológicas (Coelenterata-Anthozoa). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, **22**: 1 – 22.
- Fernandes A.C.S. 1984. Nova ocorrência de corais (Anthozoa-Scleractinia) na Formação Maria Farinha, Paleoceno do estado de Pernambuco. In: 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. *Anais...* **1**: 312 – 315.
- Fernandes A.C.S., Borghi L., Carvalho I.S., Abreu C.J. (ed.). 2002. *Guia dos Icnofósseis de Invertebrados do Brasil*. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 260 p.
- Flügel E. (ed.). 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer, 984 p.
- Folk R.L. (ed.). 1974. *Petrology of Sedimentary Rock*. Austin/TX, Hemphill Publishing Company, 183 p.
- Fortes F. P. 1986. A tectônica de teclas da Bacia Potiguar. In: 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia. *Anais...* **3**: 1145 – 1159.
- Frost S.H., Langenheim R.L. (ed.). 1974. *Cenozoic Reef Biofacies*. Northern Illinois Press, Dekalb, 388 p.
- Gallo V., Figueiredo F.J., Carvalho L.B., Azevedo S.A.K. 2001. Vertebrate assemblage from the Maria Farinha Formation after the K-T Boundary. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **219**(3): 261 – 284.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2017. AlgaeBase world-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <<http://www.algaebase.org>>. Acesso de Janeiro a Junho de 2017.
- Hillis L.W. 2000. The calcareous reef algae Halimeda (Chlorophyta, Bryopsidales): a cretaceous genus that diversified in the Cenozoic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, **166**: 89 – 100.
- James N.P. 1983. Reef Environment. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **1**: 62 – 84.
- Leeder M.R., Gawthorpe R.L. 1987. Sedimentary models for extensional tilt-block/half-graben basins. In: Coward M.P., Dewey J.F., Hancock P.L. (ed.). *Continental Extensional Tectonics*. Geological Society Special Publication No. 22, p. 139 – 152.

- Lima F.H.O., Koutsoukos E.A.M. 2002. Calcareous nannofossil biostratigraphy in the Maastrichtian of the Pernambuco-Paraíba Basin, NE Brazil. *In: 6º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e 2º Simpósio sobre el Cretácico de América Del Sur, São Pedro. Resumos expandidos*: 279 – 284.
- Lima J.C.F., Bezerra F.H.R., Rossetti D.F., Barbosa J.A., Medeiros W.E., Castro D.L., Vasconcelos D.L. 2016. Neogene-Quaternary fault reactivation influences coastal basin sedimentation and landform in the continental margin of NE Brazil. *Quaternary International*: 1 – 16.
- Maury C.J. 1924. *Fósseis terciários do Brasil, com descrição de novas formas cretáceas*. Monografia, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 305 p.
- Maury C.J. 1930. *O Cretáceo da Parahyba do Norte*. Monografia, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, 135 p.
- Mayr E., Linsley E., Usinger, R.L. (ed.). 1953. *Methods and Principles of Systematic Zoology*. New York, Mcgraw-Hill, 328 p.
- Moura C.R. 2007. *Ostracodes da transição entre as formações Itamaracá e Gramame, Bacia Paraíba: Taxonomia, implicações paleoecológicas, paleoambientais e bioestratigráficas*. DS Mestrado, Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 101 p.
- Muniz G.C.B. 1993. *Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil*. Recife, UFPE. Departamento de Geologia, 202 p. Publicação especial.
- Muniz G.C.B., Ramirez L.V.O. 1977. Observações icnológicas preliminares na Formação Maria Farinha, Paleoceno do Nordeste. *In: 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. Anais...* p. 111 – 119.
- Nascimento-Silva M.V., Sial A.N., Ferreira V.P., Neumann V.H.M., Barbosa A., Pimentel M.M., Lacerda L.D. 2011. Cretaceous-Paleogene transition at the Paraíba Basin, northeastern Brazil: carbon-isotope and mercury subsurface stratigraphies. *Journal of South American Earth Sciences*, **32**: 379 – 392.
- Oliveira M.M.F. 1978. *Estudo faciológico da Formação Maria Farinha*. TS Dourado, Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 113 p.
- Oliveira P.E. 1940. História da pesquisa de petróleo no Brasil. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura. *Serviço Público Agrícola*, **15**: 1 – 208.
- Oliveira P.E. 1953. Invertebrados fósseis da Formação Maria Farinha; I. Cephalopoda. *Bol. DNPM*, **146**: 7 – 34.
- Oliveira P.E., Ramos, J.R.A. 1956. Geologia das quadrículas de Recife e Ponta de Pedra. *Bol. DNPM*, **151**: 1 – 60.
- Penna-Neme L., Muniz G.C.B. 1976. Um novo *Dentalium* (Mollusca-Scaphopoda) da Formação Maria Farinha, Paleoceno de Pernambuco. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**(3): 523 – 525.

- Pfaltzgraff P.A.S., Torres F.S.M., Silva E.P., Alcântara V.C. 2016. Geodiversidade: Adequabilidades, Potencialidades e Limitações frente ao Uso e Ocupação. In: Torres, F.S.M., Silva, E.P. (ed.). *Geodiversidade do Estado da Paraíba*. Recife, MME – SGM TM – CPRM, p. 49 – 84.
- Riding R. 2002. Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth – Science Reviews*, **58**: 163 – 231.
- Rossetti D.F., Bezerra F.H., Góes A.M., Valeriano M.M., Andrades-Filho C.O., Mittani J.C.R., Tatum S.H., Brito-Neves B.B. 2011. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brasil: landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, **300**(1 – 4): 191 – 204.
- Rossetti D.F., Góes A.M., Bezerra F.H., Valeriano M.M., Brito-Neves B.B., Ochoa F.L. 2012. Contribution to the Stratigraphy of the Onshore Paraíba Basin, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (Impresso), **84**: 187 – 207.
- Scholle P.A., Ulmer-Scholle D.S. 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Texture, Porosity, Diagenesis. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **77**: 1 – 448.
- Silva C.R.M. 2014. *Sedimentação fosfática da Bacia Paraíba: caracterização de fácies, petrografia, mineralogia, geoquímica e ambiente deposicional*. TS Doutorado, Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 181 p.
- Távora V.A., Nogueira Neto I.L.A., Maciel L.M. 2013. Geologia e paleontologia do biohermito da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). *Revista do Instituto de Geociências – USP*, **13**(3): 23 – 40.
- Távora V.A., Dias J.J., Fernandes A.C.S. 2015. Revisão sistemática da família Flabellidae (Scleractinia) da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências UFRJ*, **38**(1): 128 – 136.
- Távora V.A., Dias J.J., Fernandes A.C.S. 2016. New records and redescription of brazilian Scleractinia corals (Itamaracá, Maria Farinha and Pirabas Formations). *Paleontología Mexicana*, **5**(1): 71 – 86.
- Tinoco I.M. 1963. *Fragments de equinodermas do Paleoceno de Pernambuco*. Recife, UFPE. Departamento de Geologia, **4**: 49 – 63. (Arquivos de Geologia).
- Tinoco I.M. 1967. Micropaleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **16**: 81 – 85.
- Tinoco L.M. 1971. *Contribuição ao conhecimento da gênese do fosfato de Olinda*. Rio de Janeiro, Museu Nacional. **54**: 177 – 182. (Apostila).
- Tinoco I.M. 1977. Foraminíferos bentônicos da Formação Maria Farinha (Paleoceno de Pernambuco). In: 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. *Anais...* p. 65 – 100.
- Tucker M.E., Wright V.P. (ed.). 1990. *Carbonate Sedimentology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 482 p.

- Vaughan T.W. 1900. The Eocene and Lower Oligocene Coral Faunas of the United States with descriptions of a few doubtfully Cretaceous Species. *United States Geological Survey*, **39**: 1 – 263.
- Vaughan T.W. 1919. Fossil corals from Central America, Cuba, and Porto Rico, with an account of the American Tertiary, Pleistocene, and Recent coral reefs. *Smithsonian Institution Bulletin*, **103**:189 – 524.
- Wells J.W. 1956. Scleractinia. In: Moore R.C. (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Coelenterata*, Part F. The University of Kansas Press, p. F328 – F444.
- Wenz W. (ed.). 1938-1943. *Gastropoda*. Berlin, Gebrüder Borntraeger, Nikdassee, 1639 p.
- Weisbord N.E. 1973. New and Little-Known Corals from the Tampa Formation of Florida. *Bulletin State of Florida Department of Natural Resources Division of Interior Resources Bureau of Geology*, **56**: 1 – 146.
- White C.A. 1887. *Contribuições à Paleontologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Museu Nacional. **8**: 1 – 273p. (Apostila).
- Wray J.L. (ed.). 1977. *Calcareous algae*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 185 p.

# APÊNDICE

# **APÊNDICE A- CODIFICAÇÃO DE LÂMINAS**

(continua)

| <b>ESTÁGIO</b> | <b>MICROFÁCIES</b>                                                                                                  | <b>CODIFICAÇÃO</b>                                                                                                                                                                |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Colonização    | Biomicrito dolomitizado (Folk, 1974) /<br><i>Dolomudstone</i> fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)      | EC-CT-01A<br>EC-CT-01B                                                                                                                                                            |
| Diversificação | Pelbiomicrito dolomitizado (Folk, 1974) /<br><i>Dolowackestone</i> fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971) | EDI-CJ-01<br>EDI-CJ-02A<br>EDI-CJ-02B<br>EDI-CJ-04A<br>EDI-CJ-04B<br>EDI-CJ-04C<br>EDI-CJ-06A<br>EDI-CJ-06B<br>EDI-CJ-06C<br>EDI-CT-04A<br>EDI-CT-04B<br>EDI-CQ-04A<br>EDI-CQ-04B |
|                | Biomicrito dolomitizado (Folk, 1974) /<br><i>Dolopackstone</i> fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)     | EDI-CJ-05A<br>EDI-CJ-05B<br>EDI-CJ-05C                                                                                                                                            |
|                | Biolitito dolomitizado (Folk, 1974) /<br><i>Doloframestone</i> (Embry & Klovan, 1971)                               | EDI-CT-02<br>EDI-CT-03<br>EDI-CQ-02<br>EDI-CQ-03A<br>EDI-CQ-03B<br>EDI-CTB-01<br>EDI-CTB-02<br>EDI-CTB-03<br>EDI-CTB-04<br>EDI-CTB-05                                             |
|                | Biolitito dolomitizado (Folk, 1974) / <i>Dolobindstone</i><br>peloidal (Embry & Klovan, 1971)                       | EDI-CTB-06<br>EDI-CTB-07                                                                                                                                                          |

| (conclusão) |                                                                                                                               |                                                                  |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ESTÁGIO     | MICROFÁCIES                                                                                                                   | CODIFICAÇÃO                                                      |
|             | Biomicrito dolomitizado com terrígenos (Folk, 1974) / <i>Dolomudstone</i> com terrígenos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971) | EDI-CJ-03A<br>EDI-CJ-03B<br>EDI-CJ-03C<br>EDI-CT-05<br>EDI-CQ-01 |
|             | Biointramicrito (Folk, 1974) / <i>Dolorudstone</i> com intraclastos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)                      | EDI-CJ-07B<br>EDI-CJ-07D                                         |
|             | Biointramicrito dolomitizado (Folk, 1974) / <i>Dolofloatstone</i> com intraclastos (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)       | EDI-CJ-07A<br>EDI-CJ-07B                                         |
| Domínio     | Biopelmicrito dolomitizado (Folk, 1974) / <i>Dolowackestone</i> peloidal fossilífero (Dunham, 1962; Embry & Klovan, 1971)     | EDO-CTB-08<br>EDO-CTB-09<br>EDO-CTB-10                           |

Fonte: Do autor.