

Geologia e paleontologia do biohermito da Formação Pirabas (Mioceno Inferior)

Geology and paleontology of the reef facies of the Pirabas Formation (Early Miocene)

Vladimir de Araújo Távora¹, Ignácio de Loiola Alvares Nogueira Neto², Lidiane Medeiros Maciel¹

¹Laboratório de Paleontologia, Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará - UFPA, Avenida Augusto Corrêa 1, Caixa Postal 8608, CEP 66075-110, Belém, PA, BR (vladimir@ufpa.br; lidiane_medeirosmaciel@hotmail.com)

²Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, PA, BR (ignacioneto@ufpa.br)

Recebido em 11 de janeiro de 2013; aceito em 10 de maio de 2013

Resumo

O presente trabalho compreende o estudo geológico e paleontológico detalhado da litofácies recifal da Formação Pirabas, Estado do Pará, aflorante na Praia do Maçarico, município de Salinópolis, como um corpo pequeno, isolado e lenticular, que deve ter se desenvolvido na rampa interna da plataforma do Mar de Pirabas. O conteúdo biótico é rico e variado, composto por três grupos de algas coralíneas, poríferos, corais, briozoários, equinóides, foraminíferos, ostracóides, e moluscos. Foram reconhecidos neste recife em mancha três estágios de sucessão ecológica, estabilização, colonização e diversificação, onde as finas crostas micríticas reconhecidas na parte superior do estágio diversificação indicam degradação das condições ambientais favoráveis à acreção recifal, provavelmente devido a continentalização do sítio deposicional. O exame petrográfico revelou apenas uma microfácies deposicional, biomicro, sem consideráveis variações texturais e composicionais. A cimentação marinha é predominante, representada por massas microcristalinas e cimentos micríticos, localmente neomorfizados para bioesparito, e detritos carbonáticos advindos do fluxo biogênico inconsolidado, resultantes principalmente da dispersão de cristais de aragonita dos fragmentos algálicos, acumulados sob a forma de lama micrítica. Para a gênese da bioconstrução as algas foram fundamentais na consolidação e modelagem do arcabouço, principalmente as macroalgas vermelhas, decisivas para a proteção e cimentação dos demais organismos.

Palavras-chave: Biohermito; Formação Pirabas; Mioceno Inferior.

Abstract

This work concerns with the detailed geological and paleontological study of the reef facies of the Pirabas Formation, that outcrop at the Maçarico beach, of Salinópolis district, Pará State, as a small, isolated and lenticular sedimentary body developed in the inner platform inner ramp of the Pirabas Sea. The biotic constituents are diverse and composed by three groups of coralline algae, sponges, corals, bryozoans, echinoids, foraminifera, ostracodes and molluscs. Three stages of the ecologic succession were recognized in this patch reef: stabilization, colonization and diversification. Thin micritic crusts, recognized at top of the beds in diversification stage suggest the degradation of the environmental conditions favorable to reef accretion probably due to continentalization of the depositional site. The petrographic investigation reveals only one, homogeneous depositional microfacies, named biomicrite, without compositional and textural changes. The marine cementation is represented by microcrystalline agglomerates and micritic cement, locally neomorphosed to biosparite and detrital carbonatic components of the unconsolidated biogenic debris, resulted from the disintegration of the aragonite from the algalic remains accumulated as micritic mud. In the construction of the reef framework the red macroalgae were fundamental to the lithification and building of the framework, and very important to the protection and cementation of the others constituents.

Keywords: Biohermite; Pirabas Formation; Early Miocene.

INTRODUÇÃO

O reconhecimento de recifes fósseis é bastante complexo devido serem bem definidos apenas em exposições verticais, e porque a grande maioria foi obliterado por processos diagenéticos (dolomitização ou dissolução) e/ou destruídos parcial ou completamente por processos tectônicos, intempéricos ou ainda por encontrarem-se em sub-superfície. 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 (Davis Jr, 1983).

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

A sua distribuição espacial e temporal resulta diretamente das modificações do padrão de circulação oceânica global, 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 a conexão do Oceano Índico com o Mediterrâneo por um corredor raso. Foi durante o Oligoceno que os recifes alcançaram o seu máximo de desenvolvimento, quando se estabeleceram grande parte das comunidades recifais. Com a compreensão dos cinturões climáticos e o 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, onde em muitos casos foram reconhecidas zonas verticais e horizontais. Os primeiros estágios de crescimento são caracterizados por baixa diversidade coralínea, com esqueletos leves, porosos e de crescimento rápido, que poderiam ocupar inicialmente sedimentos argilosos (p.ex. *Goniopora*-ramificado e incrustante, e *Actinacis*- com ramos superpostos, similar ao atual *Acropora palmata*. O estágio de diversificação é caracterizado por uma

grande diversidade específica, com predomínio dos maciços *Goniopora*, *Favia*, *Montastraea*, *Diploria*, *Pavona*, *Calpophyllia* e *Antiguastrea*, bem como dos ramificados *Acropora*, *Actinacis*, *Dictyariaea* e *Stylocoenia*, e dos nodulares *Alveopora* e *Astropora*. Outros elementos abundantes são briozoários, foraminíferos incrustantes e algas coralíneas. Destes últimos nota-se a escassez relativa de *Halimeda*, comum nos recifes modernos (Davis Jr, 1983; Tucker e Wright, 1990).

O calcário aflorante na Praia do Maçarico foi interpretado por Góes et al. (1990) e Rossetti e Góes (2004), como um biohermito, a partir do padrão faciológico e conteúdo biótico, composto predominantemente por corais hermatípicos, algas coralíneas e equinóides, secundarizado por briozoários e bivalvíos incrustantes, todos típicos de recifes (Figura 1). Neste trabalho são pela primeira vez, descritos todos os aspectos geológicos e paleontológicos em escala de detalhe desta litofacies que caracteriza um ambiente deposicional e um ecossistema específico, o único recife fóssil cenozoico reconhecido no Brasil até o momento.

RECIFES

Um bioherma é um corpo lentiforme de origem orgânica, de composição interna peculiar, que podem estar encaixados em rochas de diferentes composições. Representa uma acumulação *in situ* de organismos bentônicos ou acumulações em pilhas de detritos esqueléticos, em um ambiente com nível de energia baixo a moderado que propicia rápido crescimento de uma comunidade. (Davis Jr, 1983; James, 1983; Tucker e 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 a eles não podem ser aplicadas as propostas clássicas de classificação das rochas carbonáticas. Nesse contexto estes carbonatos são genericamente chamados de biolíticos ou boundstones. Por meio de feições texturais e de fábrica, o componente autóctone pode ser classificado como bafflestone, que inclui organismos dispersos, com crescimento verticalizado que aprisionam sedimentos entre eles de maneira desordenada, tais como corais ramificados; blindstone, designa agrupamentos de organismos tabulares ou incrustantes que aprisionam sedimentos, tais como as algas coralíneas, e formam uma incrustação plana; e *framestone*, inclui os organismos com estrutura maciça, tais como alguns corais, que formam uma “armadura” resistente. O componente alóctone pode ser classificado como floatstone e rudstone, em substituição a wackstone

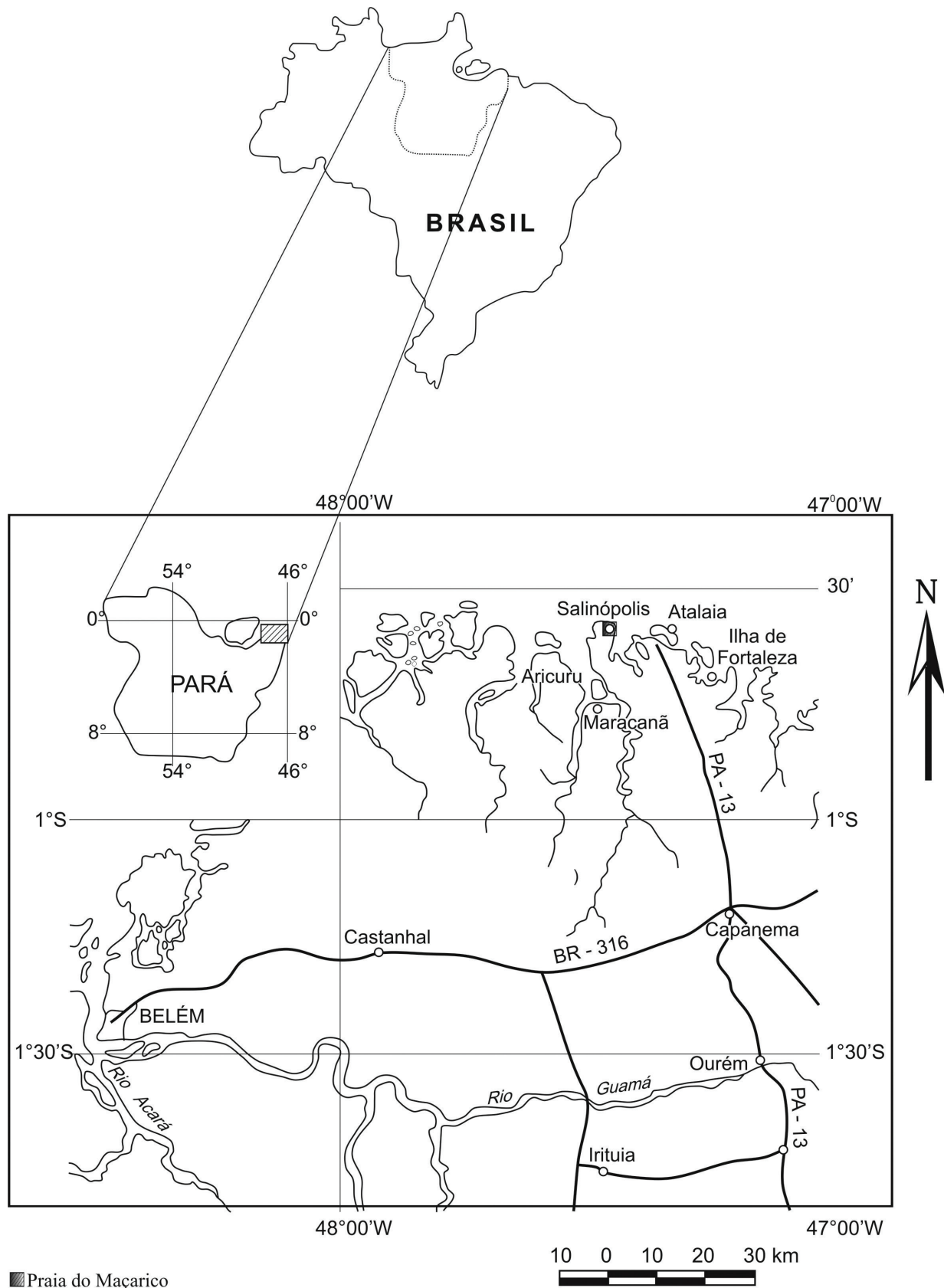


Figura 1. Mapa de localização da área estudada.

e rudstone, se mais de 10% das partículas são maiores que 2 mm. (Davis Jr, 1983; Embry e Klován, 1971; James, 1983; Riding, 2002; Tucker e 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. O rápido crescimento de um recife está diretamente relacionado aos elementos simbiotes, que ao executarem algumas funções vitais de seus hospedeiros, acelera a calcificação dos esqueletos e consequentemente disponibiliza 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 zanações 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 dendroides espessos. Já em meios de baixa energia os corais são ramificados, eretos e delicados (James, 1983; Riding, 2002; Tucker e 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. Assim 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). A diversidade específica e a

representatividade numérica são baixas, sendo que as formas ramificadas abrem nichos menores que podem ser ocupados por outras formas sésseis e incrustantes. Aqui tem-se a formação do primeiro estágio do ecossistema recifal;

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

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

As estruturas recifais no registro fossilífero 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 paleossolos. Quando então o oceano recobre estas exposições o crescimento de um novo recife começa no estágio de diversificação, pois já existe um substrato duro e elevado (Davis Jr, 1983; Dunham, 1970).

GEOLOGIA DA FORMAÇÃO PIRABAS

A sucessão miocênica do Estado do Pará desenvolveu-se sob condições de forte controle tectônico, com o desenvolvimento de vales incisivos que se encaixam ao longo de zonas de falhas (Rossetti e Góes, 2004). As estruturas que controlam o desenvolvimento da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras são falhas normais NW-SE e inclinadas para NE, e

falhas transcorrentes NE-SW que funcionaram como zonas de transferência. Essa evolução é entendida como decorrente do último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, relacionado ao evento de separação América do Sul – África (Costa et al., 1993).

O arranjo dos depósitos da Formação Pirabas evidencia padrão geral progradacional, revelado pela superposição de fácies de plataforma aberta por fácies progressivamente mais costeiras, associadas a sistema deposicional contendo ilhas-barreiras (Góes et al., 1990). Também foram reconhecidos vales estuarinos incisos, através da abundância de depósitos formados sob influência de processos de marés em ambientes canalizados, típicos de estuários. Estes depósitos caracterizados por litologias típicas com gradações laterais e verticais, geneticamente relacionadas com uma variedade de outros depósitos comuns a sistemas estuarinos, destacando-se particularmente delta de maré, baía/laguna estuarina, planície de maré e mangue. O relacionamento destes depósitos com estratos atribuídos à plataforma rasa, e a associação icnológica, com representantes de ambientes marinhos estressados e com influência de água salobra, são importantes elementos na caracterização da natureza estuarina desses estratos (Rossetti e Góes, 2004).

As características ecoestratigráficas sugerem evolução ecossedimentar em condições de nível de mar alto, durante um período de relativa estabilidade tectônica. As ecozonas definem condições de ambiente mais raso, que gera contração no ecoespaço e elevada relação siliciclásticos/carbonatos, produtos de pulsação tectônica. Correspondem a áreas de planícies costeiras, localizadas em áreas planas de plataforma continental ampla, e sujeitas à transgressão e criação por atividade tectônica, de espaço de acomodação de sedimentos pela subsidência. Com isso também foram individualizados vales estuarinos incisos, em associação com discordâncias (Rossetti e Góes, 2004).

Considera-se que os depósitos estuarinos formaram-se durante a passagem de trato de sistema transgressivo a mar alto, sugerido pelo caráter progradante da sedimentação. A progradação ocorreu através de episódios múltiplos de variação do nível do mar de alta frequência, os quais se superimpuseram aos processos transgressivos e de mar alto, fácies proximais, intermediárias e distais dos sistemas estuarinos (Rossetti e Góes, 2004).

BIOHERMITO DA FORMAÇÃO PIRABAS

A litofácies recifal da Formação Pirabas aflora no município de Salinópolis, que juntamente com a seção aflorante da Ilha de Fortaleza constituem uma das suas mais expressivas exposições em toda a sua área de ocorrência (Figura 2), sob a forma de blocos métricos, alongados na

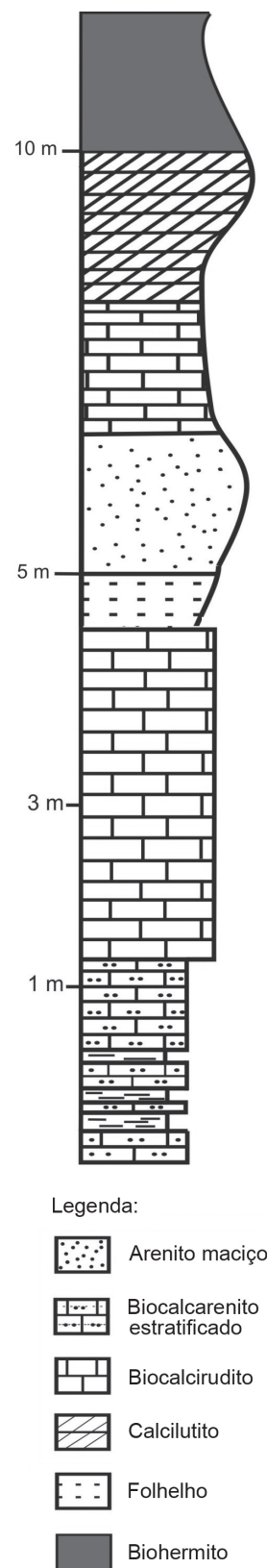


Figura 2. Perfil geológico da Formação Pirabas.

direção NW-SE, fortemente afetado por fraturas, estando a maioria em posição original e alguns basculados, em posição inclinada a verticalizado, posição esta que pode refletir controle por falhas, já caracterizadas em outras exposições da Formação Pirabas (Costa et al., 1993) (Figura 3).

O perfil geológico deste bioherma apresenta uma sucessão de três litofácies com variações no conteúdo biótico macroscópico (Figuras 4 e 5) e seus padrões preservacionais, caracterizado uma comunidade abundante e pouco diversa.

A litologia margosa basal, bafflestone, com espessura variando entre 5 e 32 cm, é constituída por areias calcárias maciças com raros restos esqueléticos de algas verdes (Figura 6). O conteúdo biótico ocorre como uma acumulação de detritos esqueléticos, estando representados por pequenos fragmentos de carapaças e espinhos de equinoides regulares (65%), bivalvíos e gastrópodes (15%), algas (10%) e outros componentes, entre briozoários, corais anermatípicos e espongiários, que perfazem 10% do total. Estes elementos estão envolvidos por uma matriz argilosa carbonática com microfragmentos de carapaças *incertae sedis* numa proporção entre 35% de bioclastos e 65% de grãos terrígenos (silte e argila).

A litofácies intermediária está representada também por bafflestone, com pequena espessura (entre 4 e 10 cm), composta por areia calcária, com estratificação cruzada decimétrica incipiente (Figura 6). Do ponto de vista biótico é composta por fragmentos de corais maciços e ramificados, além de valvas de jovens e adultos de ostreídeos e plicatulídeos, imersos por uma matriz micrítica, numa proporção de 15% de bioclastos e 85% de grãos terrígenos.

A fácies do topo é framestone, mais abundante e expressiva com espessura variando entre 25 e 60 cm, é constituída por areia quartzosa com silte e lama carbonática. A associação faunística inclui algas coralíneas

(*Lithothamnium*), macroforaminíferos, espongiários, corais hermatípicos (*Stylophora*, *Dendrophyllia*), corais anermatípicos (*Flabellum*, *Discotrochus*), briozoários queilostomados (*Lunulites*, *Steginoporella*), moluscos bivalvíos (*Arca*, *Crassostrea*, *Cubitostrea*, *Pitar* (*Lamelliconcha*), Pectinidae, *Venericardia*), moluscos gastrópodes (*Architectonica*, *Cypraea*, *Pyrula*, *Turritella*, Vermetidae) e equinoides (*Phyllacanthus*, *Prionocidaris*). O tamanho médio destes bioclastos varia entre 2 e 10 cm, e tem-se 45% de bioclastos e 55% de grãos terrígenos (Figura 6).

Nesta litofácies foi reconhecido um horizonte delgado, contínuo e preservado na maioria dos blocos representativos do biohermito, que se destaca por representar um nível com diagênese mais intensa do que no restante da litofácies (Figura 7).

O exame petrográfico do biohermito revelou a caracterização de apenas uma microfácies deposicional, biomicrito (Folk, 1959, 1962), sem consideráveis variações texturais e composicionais, nos seus três estágios de sucessão ecológica (Figuras 8A a 8C). Os grãos do arcabouço são constituídos por uma mistura de sedimentos terrígenos e carbonáticos, cuja assinatura tafonômica em termos de incrustações estão restritas a finas e isoladas crostas algálicas. A cimentação marinha é predominante, ocorrendo nos poros primários intragranulares e intergranulares, sendo representada por massas microcristalinas e cimentos micríticos localmente neomorfizados para bioesparito e, detritos carbonáticos advindos do fluxo biogênico inconsolidado. Estes aspectos diagenéticos constituem fenômenos complexos de cimentação *in situ*, biológicos e bioquímicos que interferem na construção biohermítica. Os constituintes alóquemes são frequentes, estando representados por algas, poríferos, corais, foraminíferos bentônicos, ostracodes, briozoários, bivalvíos e equinoides. Não

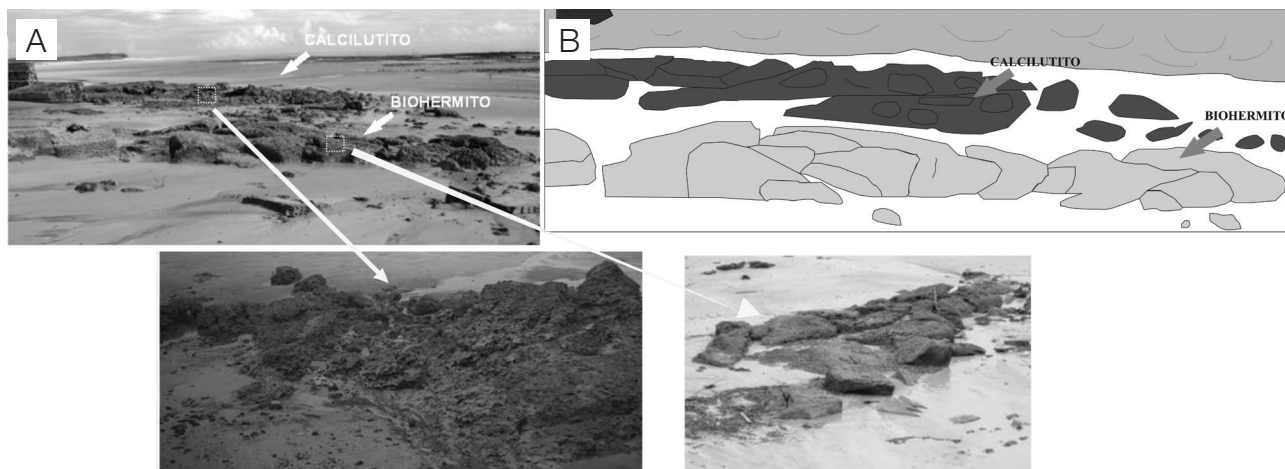


Figura 3. Vista geral dos blocos métricos. Destaque para litofácies Biohermito e Calcilito (A); (B) Representação esquemática das litofácies.

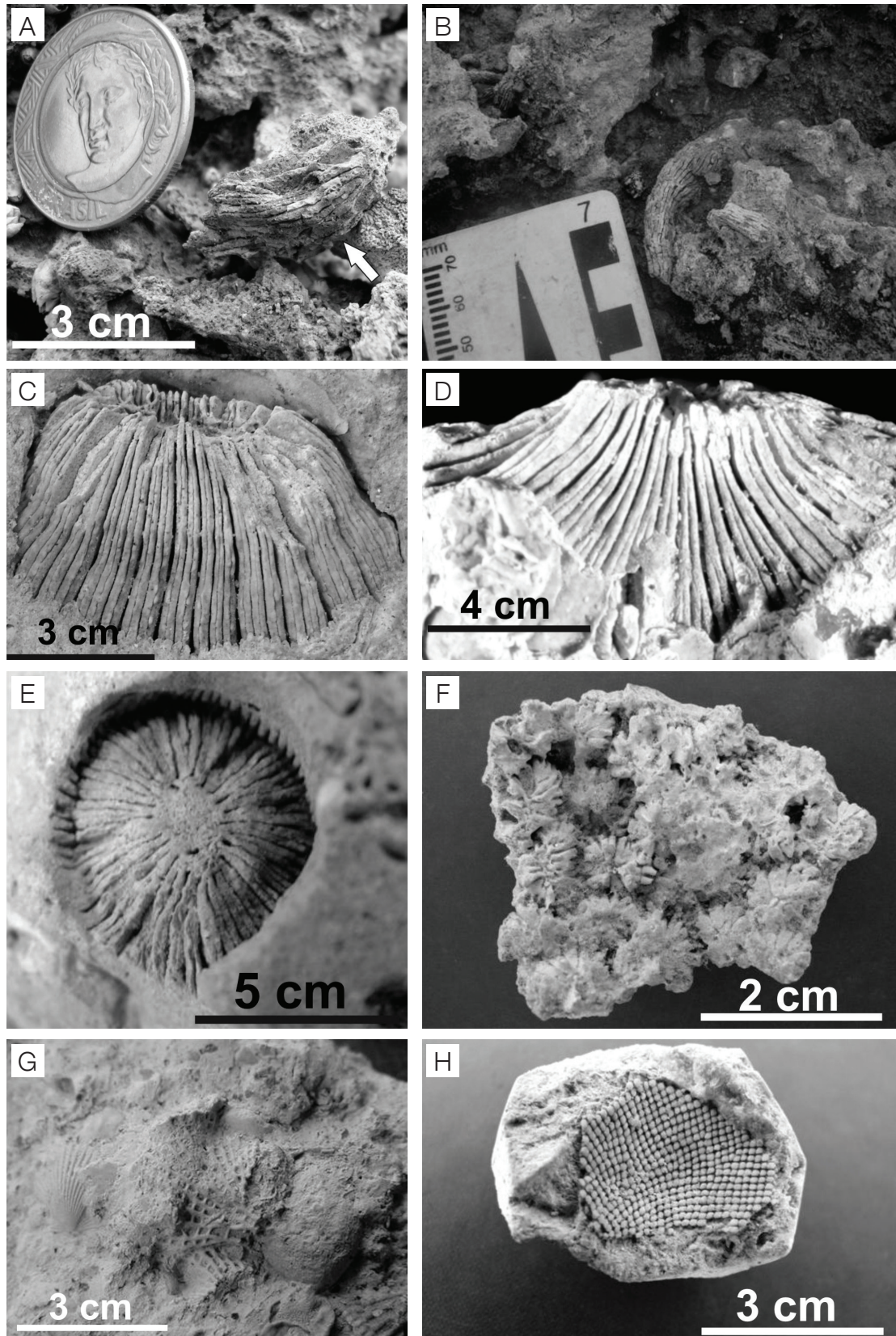


Figura 4. Principais constituintes bióticos do biohermito. (A) crostas algálicas, corais escleractíneos anermatípicos (B) *Stylophora*, (C) e (D) *Flabellum*, (E) *Discotrochus*, corais escleractíneos hermatípicos (F) *Cladocora*, briozoários (G) *Steginoporella* e (H) *Lunulites*.

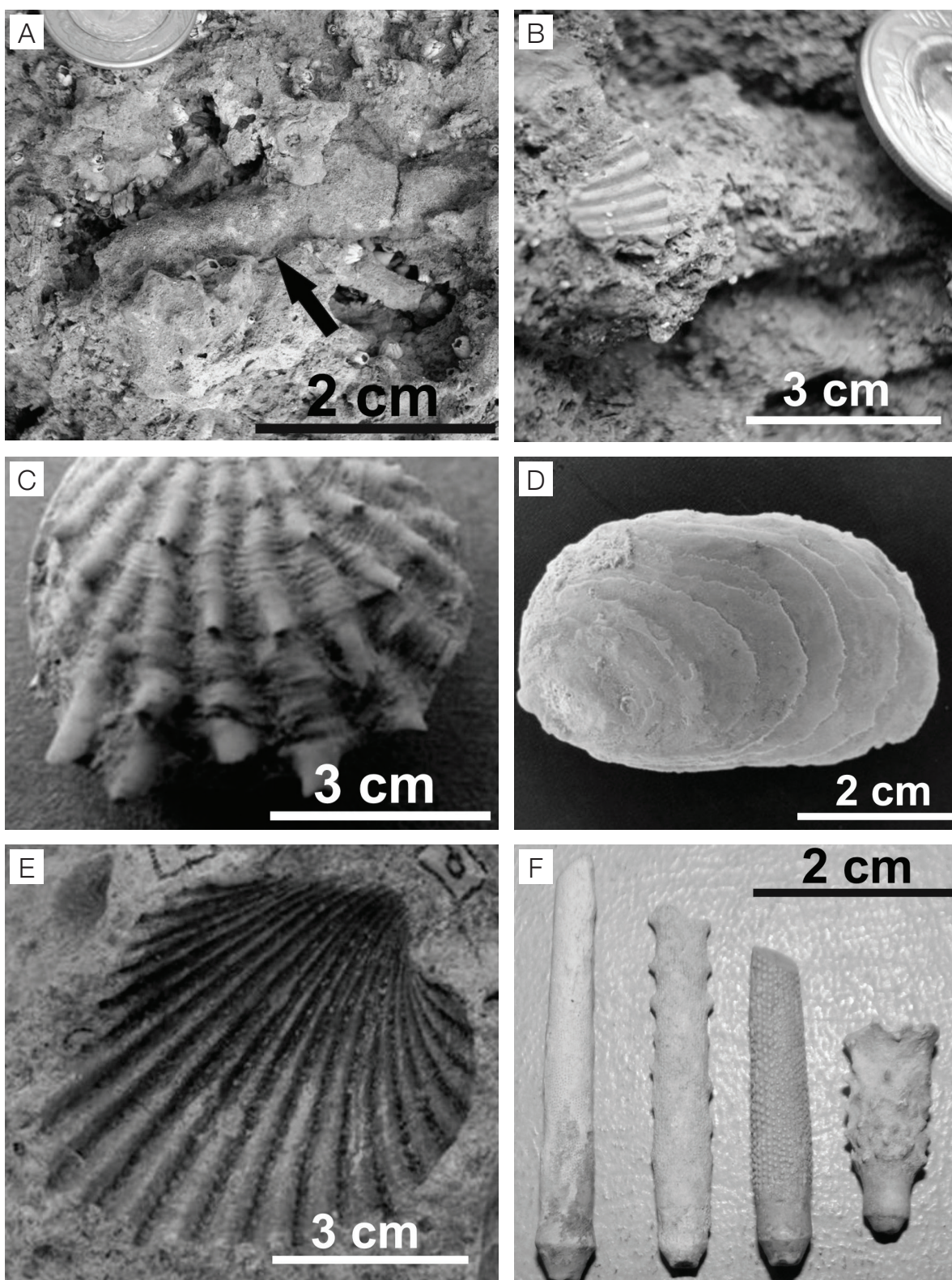


Figura 5. Principais constituintes bióticos do biohermito. (A) poríferos calcispôngios, moluscos bivalvíos (B) pectinídeos, (C) *Plicatula*, (D) *Crassostrea*, (E) *Venericardia* (F) espinhos de equinóides regulares.

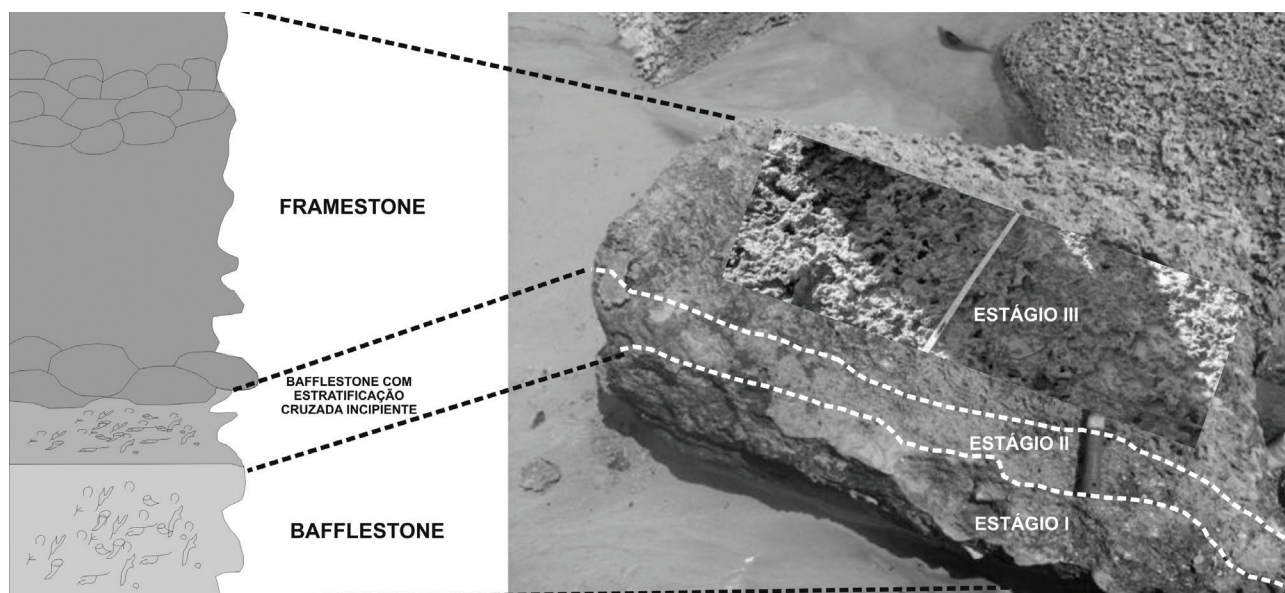


Figura 6. Perfil esquemático e bloco métrico do biohermito com as suas três litofácies, com destaque para a complexa malha de crostas algálicas da litofácies de topo.

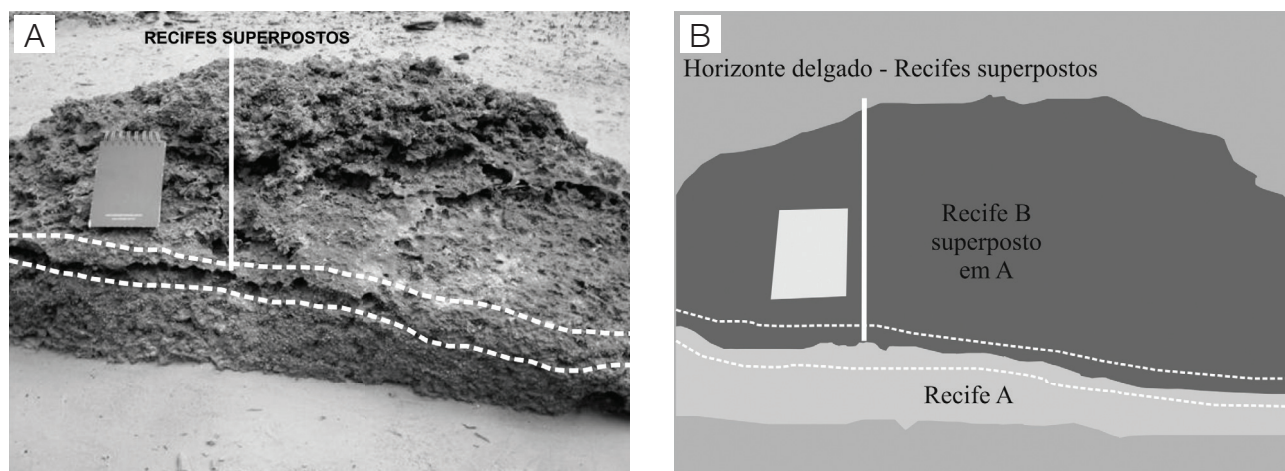


Figura 7. Horizonte delgado, contínuo e bem endurecido que representa dois recifes superpostos (A); Representação esquemática dos recifes superpostos (B).

foram reconhecidas estruturas de bioturbação, provavelmente devido as modificações sofridas pela rocha durante a diagênese e intemperismo químico. Para a consecução deste item foram utilizados Adams et al. (1994), Scholle e Ulmer-Scholle (2003) e Wray (1977).

Algas

A investigação sob lâminas delgadas de algas apresenta limitações relacionadas com o corte da rocha para confecção da seção, e a sua diagênese, que podem ou não preservar o seu hábito ou forma de crescimento. Os cristais de aragonita advindos da dispersão de

elementos do seu esqueleto constituem a principal fonte do fluxo biogênico inconsolidado, que constitui uma lama carbonática (micrito), que serve como arcabouço da bioconstrução.

As algas possuem um papel fundamental na consolidação e modelagem da superfície das construções coralíneas, estando representadas principalmente por rodólitos ou *maerl* de formas livres e fragmentos maciços de formas fixas do grupo das macroalgas vermelhas Corallinales. Também são elementos comuns algas clorofíceas filamentosas perfurantes ou outras formas de Chlorophyceae, que podem liberar elementos finos ou grosseiros.

Foram reconhecidos três grandes grupos algálicos fotossintéticos (vermelhas, verdes e filoides) no biohermito, cuja alta representatividade numérica confirma seu papel decisivo para a proteção e cimentação dos demais organismos, e o consequente desenvolvimento recifal.

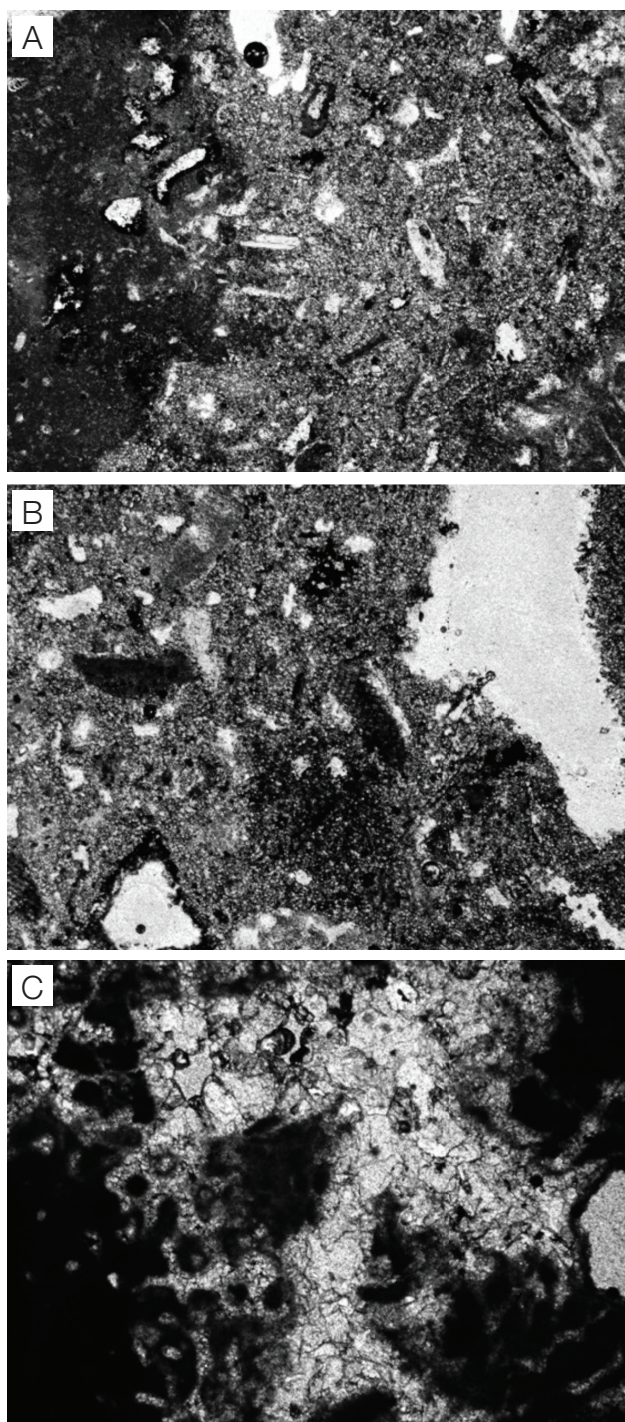


Figura 8. Microfácies biomicrito, caracterizada no biohermito.

Algas vermelhas

É o grupo mais rico e variado na bioconstrução estudada, onde foram reconhecidos cinco morfogrupos (Figuras 9 e 10), onde os dois primeiros são referentes ao hábito incrustante (Subfamília Melobesoideae) e os demais ao hábito articulado e verticalizado (Subfamília Corallinoideae). São eles: a) incrustante com forma definida (*Lithothamnium*) – apresenta estrutura celular reticulada, diferenciada em uma camada externa, peritalo, com estrutura mais densa e células orientadas em direção as margens dos grãos, e uma interna, hipotalo, definida por uma série de bandas claras e escuras, com células orientadas paralelamente ao eixo maior do grão; b) e c) incrustante sem forma definida e, camadas múltiplas de placas (provavelmente *Litophyllum*) – camadas múltiplas circundadas por sedimentos silticos ou detritos calcários; d) rodoide – nódulos laminados com estrutura celular distinta, definida por uma área escura com alta concentração de matéria orgânica, constituída por células orientadas centrifugamente e com uma pequena área mais clara nas bordas, de composição micrítica, que reproduz a estrutura interna original, cujo desenvolvimento atesta a presença de substratos instáveis- produzidos provavelmente por *Lithothamnium*; e) segmentado – fragmentos de segmentos cilíndricos de formas articuladas (tipo *Corallina*), cujos tecidos medulares são compostos por camadas regulares de células e tecido cortical delgado. Entre os representantes deste grupo foi reconhecida uma importante feição para a estabilização do material recifal, correspondendo a intercrescimentos complexos entre rodófitas incrustantes com forma definida (*Lithothamnium*) e sem forma definida e micrítica, definindo competição entre crostas, onde uma cresce sobre a outra, e dependendo da área do talo, espessura e interferência de invertebrados herbívoros, as espessas podem estar sobrepostas sobre as delgadas ou vice versa. Por fim, foram reconhecidos fragmentos de tecidos celulares compactos definidos por células poligonais irregulares, que definem uma estrutura tipo *honeycomb*, que podem ser atribuídas a seções transversais de rodófitas solenoporoides.

Algas verdes

As algas verdes são elementos com esqueletos pouco calcificados, típicos de baixas batimetrias e tolerantes a variações de salinidade. Seus segmentos podem desagregar-se em placas alongadas sem que a estrutura tubular ou filamentar original seja preservada pela diagênese. Estes segmentos são compostos por pequenos cristais aciculares de aragonita, que podem dispersar-se nos sedimentos após a morte, colaborando na disponibilidade micrítica. Os fragmentos reconhecidos no biohermito (Figura 10E)

correspondem a estreitos filamentos possivelmente de dasicladáceas, de coloração amarronzada, com inclusões de matéria orgânica no córtex (bordas), nas áreas de aragonita neomorfizada, e poros preenchidos por sedimentos micríticos ou cimento marinho sindeposicional.

Algas filoides

A denominação deste grupo é mais descritiva do que genética, sendo considerado como de afinidade com algas vermelhas por uns autores, e com algas verdes

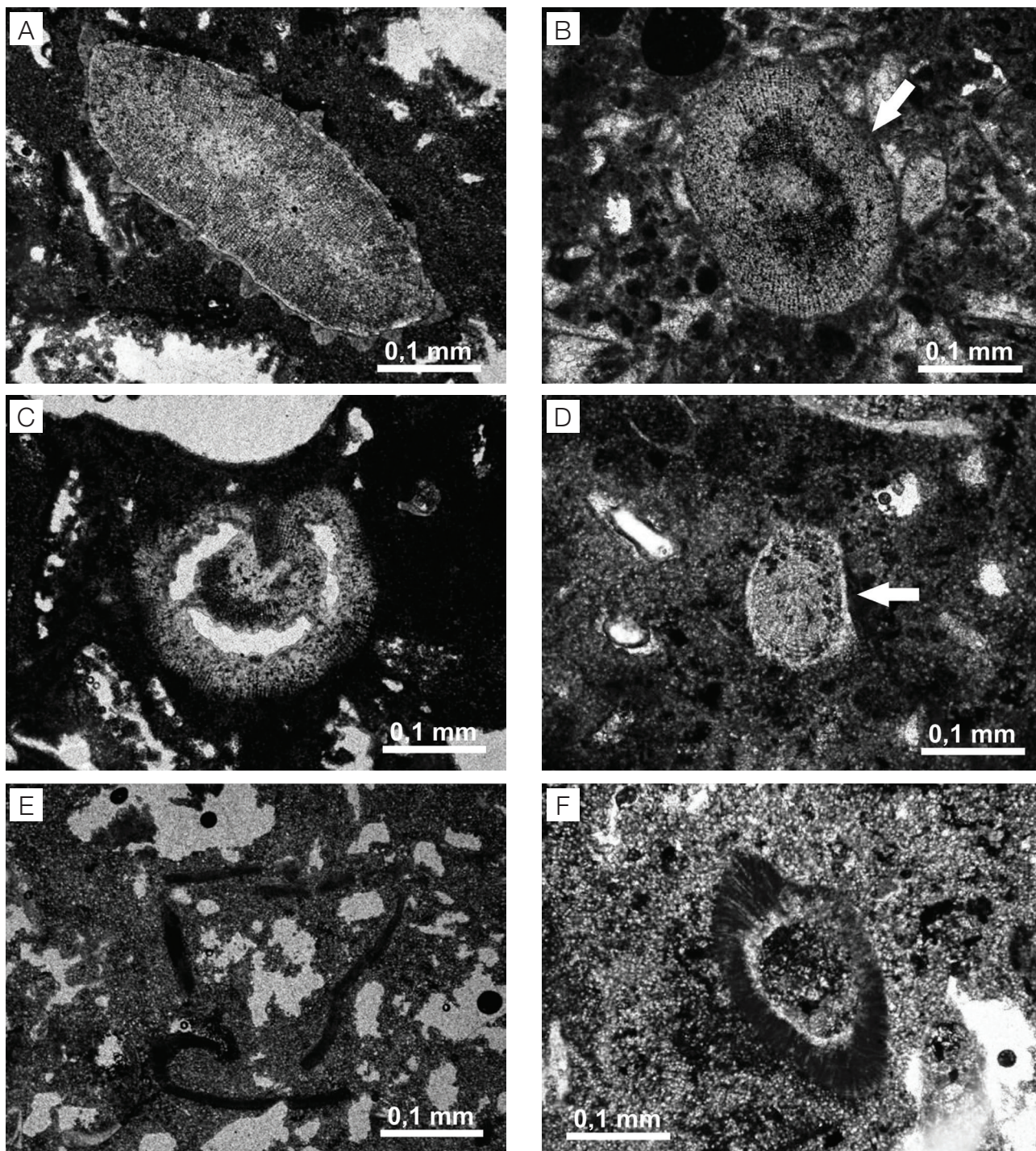


Figura 9. Constituintes alóquemes do biohermito: algas vermelhas-formas incrustantes com forma definida (A) *Lithothamnium*; (B), (C), (D) *Corallium*; (E) forma incrustante sem forma definida; (F) forma rodoide.

por outros. Os grãos representativos das algas filoides no biohermito são fragmentos fortemente calcificados e alterados pela diagênese, de contorno original substituído por sedimento micrítico ou cimento calcífero,

onde o peritalo corresponde a fileiras marginais paralelas de coloração amarronzada e estrutura maciça, e o hipotalo medular, composto por fileiras espessas e arqueadas de grandes células poligonais, preenchidas

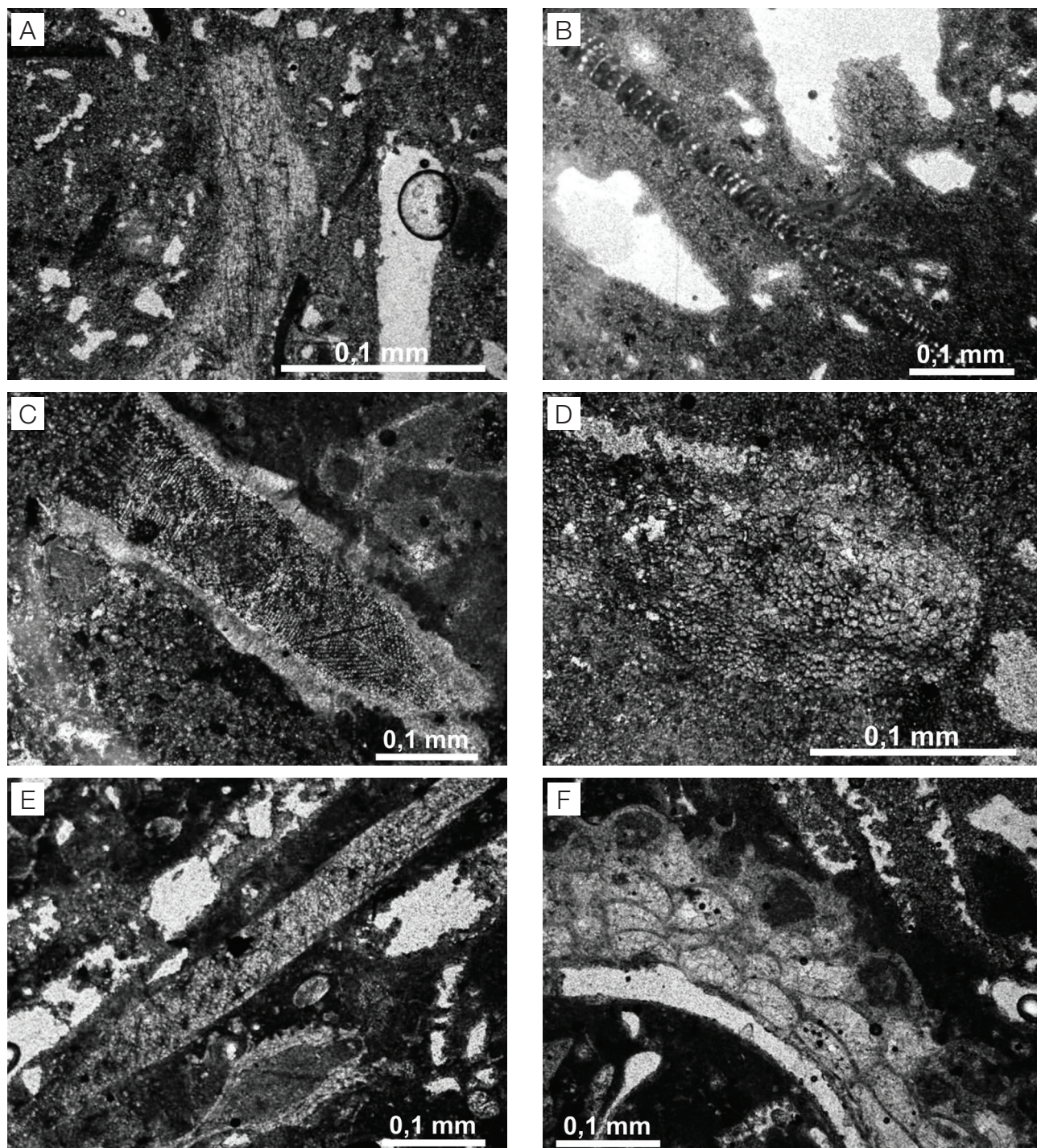


Figura 10. Constituintes alóquemes do biohermito: algas vermelhas – formas segmentadas (A), (B) *Corallina*; (C) competição entre crostas algálicas; (D) forma com estrutura honeycomb; algas verdes (E) filamento alongado de Dasycladaceae; algas filoides (F) fragmento com peritalo e hipotalo preservados.

por esparito secundário dos túbulos micríticos primários, sendo as áreas com calcificação mais intensa, que favoreceu a preservação do tecido celular e sua estrutura interna (Figuras 10F e 11A).

Poríferos e Corais

Os poríferos são elementos biodestrutores reconhecidos por traços de *Cliona*, possuem esqueleto com estrutura interna complexa, finamente cristalina e laminada. O grupo está representado por fragmentos com estrutura da parede meandrante, cavernosa, parcialmente preenchida com material ferruginoso, durante o intemperismo e resedimentação em cavidades da bioconstrução (Figuras 11B e 11C).

Os corais apresentam-se bastante alterados, devido a composição aragonítica original de suas epitecas. Os espécimens possuem estrutura septal radiada, normalmente preservada como preenchidas por micritos ou cimento calcítico microcristalino. As estruturas septais trabeculares ocorrem como cristais de aragonita finamente fibrosos que irradiam de pontos isolados dos centros de calcificação. Os componentes fibrosos são pouco espessos, e os pontos de onde irradiam as fibras são granulares escurecidos e alinham-se ao longo da linha central das paredes septais (Figura 11D). Também foram encontrados grãos em seções transversais (Figura 11E) que apresentam uma combinação entre preenchimento por sedimentos (centro) e incrustação microbiana em camadas irregulares (bordas).

Moluscos e Equinodermas

Os moluscos bivalvíos são predominantemente elementos construtores através da sedimentação de suas conchas mortas inteiras ou fragmentadas em substrato mole, assim como de suas pelotas fecais aglutinadas por muco. Entretanto, alguns bivalvíos perfurantes, como *Lithophaga* e *Gastrochaenia*, e gastrópodes raspadores tem ação biodestrutora, removendo substrato e desintegrando os sedimentos biodetríticos já aglutinados. Foram identificados fragmentos de conchas de ostreídeos, o grupo mais comum de bivalvíos no biohermito (Figura 11F). Já os equinodermas são agentes biodestrutores mecânicos, como consequência de sua pastagem sobre algas calcárias ou corais mortos, e estão representados na bioconstrução por seções transversais de três morfotipos de espinhos, também preenchidos por cimento de calcita microcristalina (Figuras 12A a 12C).

Foraminíferos, Ostracodes e Briozoários

Estes táxons são considerados construtores secundários, preenchendo as cavidades, cimentando os detritos esqueléticos e fornecendo sedimentos biodetríticos. Os foraminíferos (Figura 12D) e ostracodes (Figura 12E) reconhecidos no biohermito possuem paredes robustas, e cavidades entre as câmaras nos foraminíferos e, interior das conchas dos ostracodes, preenchidos com material micrítico.

Os briozoários estão representados por seções longitudinais tangenciais de fragmentos de colônias multisseriais incrustantes e de ramos robustamente ramificados (Figuras 12F e 12G). Os zoécios são em forma de caixa, com paredes espessas compostos por cristais laminares, foliados ou granulares de carbonato de cálcio, estando preenchidos por cimento micrítico ou cimentos de calcita microcristalina.

INTERPRETAÇÃO

Este bioherma fóssil pode ser classificado como um recife em mancha (*patch reef*), por ser pequeno e isolado, com forma elíptica a lenticular, irregular em planta possuir aspectos eodiagenéticos peculiares, tendo se desenvolvido na rampa interna do subambiente plataforma do Mar de Pirabas. Considerando também que os constituintes deste paleoecossistema podem ter sido acumulados em instantes temporais diferentes, ele também pode ser classificado como recife estratigráfico.

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

obliteradas tanto pelos fluidos percolantes durante a diagênese quanto pelo intemperismo.

A forma e o crescimento irregular dos bioconstrutores macroscópicos resultam na formação de cavidades

que foram preenchidas por sedimentos carbonáticos de granulação fina misturados com microfragmentos esqueléticos, que são produzidos por fragmentação ou bioerosão de elementos de carapaças mais delicadas.

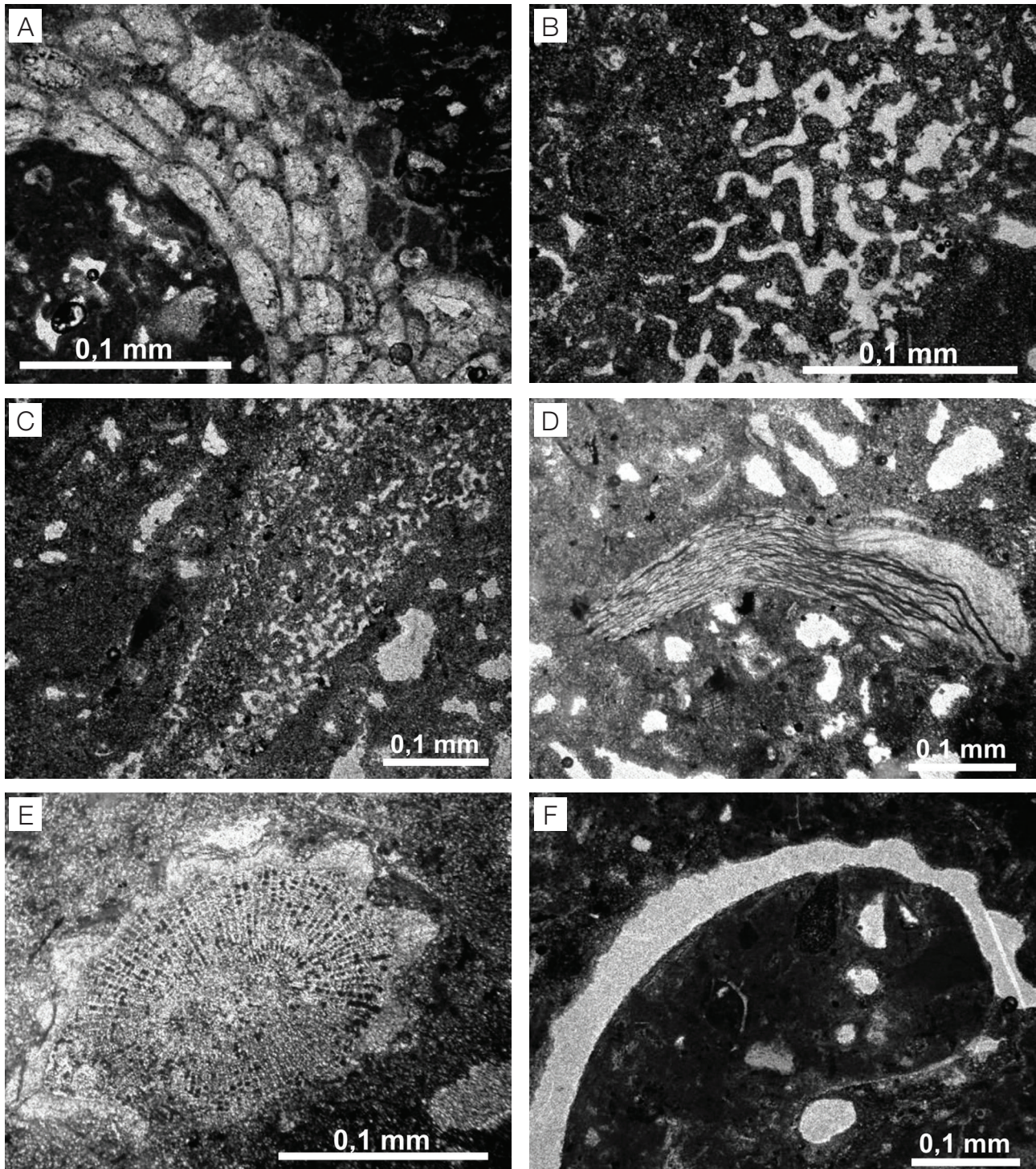


Figura 11. Constituintes alóquemes do biohermito: algas filoides (A) detalhe do hipotalo medular; (B), (C) porífero; (D), (E) coral escleractíneo *Stylophora*; (F) bivalvío incrustante *Crassostrea*.

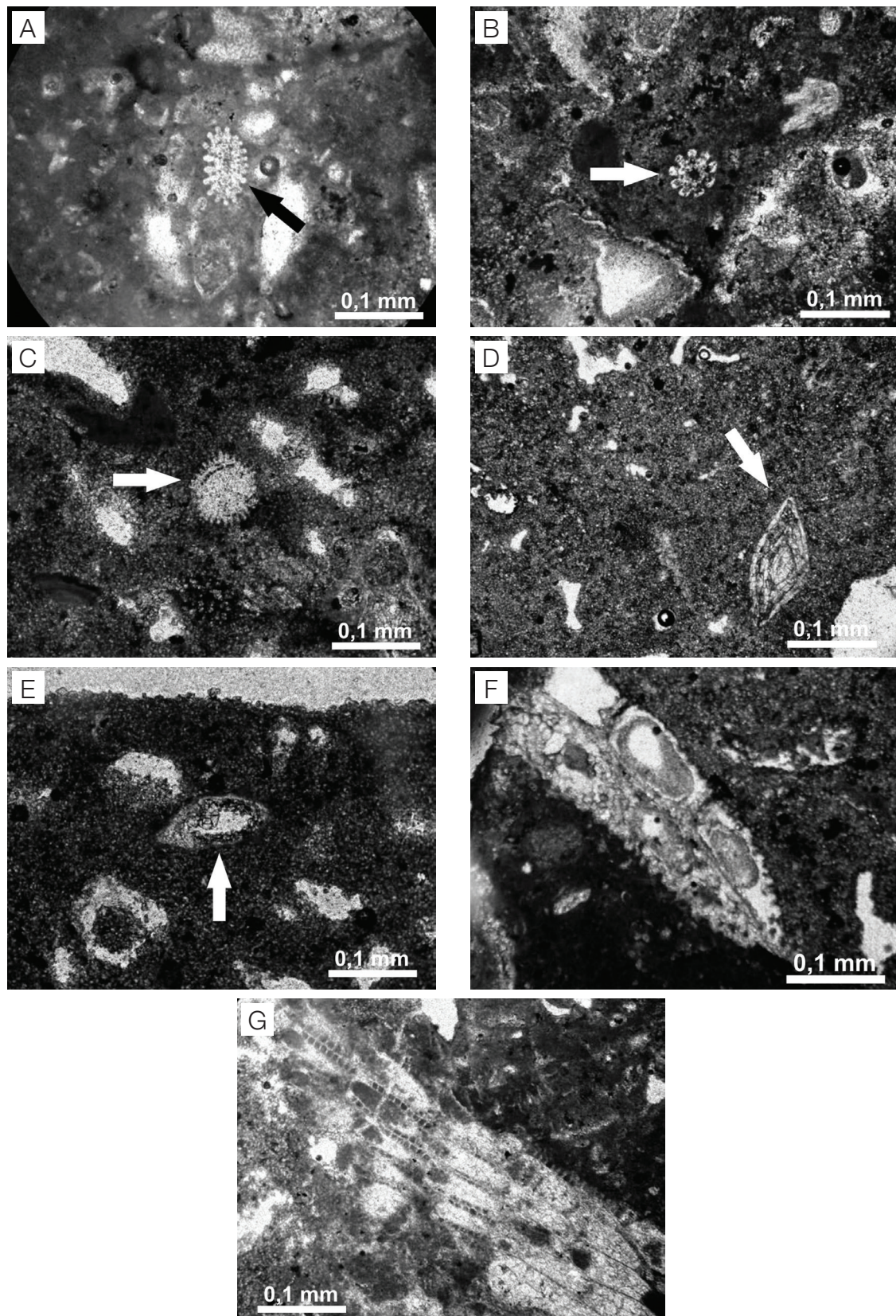


Figura 12. Constituintes alóquemes do biohermito: (A), (B), (C) seções transversais de espinhos de equinoides; (D) foraminífero rotalídeo bentônico; (E) ostracode; (F) briozoário biserial ereto; (G) briozoário multisserial incrustante.

A ação do intemperismo físico e químico nas rochas aflorantes, que ficam recobertas durante a maré alta, retirou grande parte do material preenchedor destas cavidades, resultando numa aparente arcabouço mais aberto entre os constituintes da bioconstrução.

Os topos dos blocos mostram os mais altos graus de fragmentação e abrasão esquelética que definem uma superfície de acumulação de detritos intensamente bioerodidos e cimentados, que indicam tratar-se da zona mais alta e exposta do recife, sujeita a alta energia advinda da ação das ondas, a crista recifal, principal zona produtiva de um recife ativo. Nesta região, o conteúdo biótico tem baixa diversidade específica, composto por formas de crescimento lamelares e incrustantes. Na área aflorante não foram reconhecidos os flancos recifais, normalmente definidos por fácies distintas, predominantemente compostas por detritos recifais com mergulho deposicional mais profundo.

A composição, espessura, variação textural e relações espaciais das litofácies identificadas, bem como a extensão areal do bioherma, sugerem que esta bioconstrução constituiu uma unidade de sedimentação contínua, acumulada e desenvolvida sob condições de trato de sistema transgressivo passando a trato de sistema transgressivo de mar alto, durante um curto intervalo de tempo. As litofácies individualizadas da base para o topo representam três estágios de uma sucessão ecológica autogênica (Figura 12), onde cada um deles prepara o meio para o próximo, pois cada comunidade abundante e pouco diversa altera o ambiente para que outra adaptada às novas condições ocupe com êxito o ecoespaço. Os construtores principais, corais escleractíneos e algas coralíneas, e os secundários, que preenchem os espaços internos e ajudam na consolidação do bioherma, permitem visualizar ao longo do perfil uma substituição sucessiva que reflete a relação direta entre alteração do meio físico (aumento da profundidade) e a resposta biótica (aumento paulatino da abundância e diversidade). Cabe acrescentar a ação dos organismos geradores de sedimentos biodetríticos, importante fornecedores de carbonatos para o sistema como um todo (por exemplo, as macroalgas) (Figuras 3A a 3N). Na parte superior do terceiro estágio ocorrem finas crostas micríticas, indicativas de degradação das condições ambientais favoráveis à acreção recifal, explicando desta forma a ausência da quarta e última fase da sua sucessão ecológica, segundo James (1983, 1984), impediu o aumento de sua acreção. A continentalização do sítio deposicional, desencadeada a partir da instalação de condições ambientais relacionadas a um trato de sistema regressivo provavelmente impediu o seu desenvolvimento completo, quando a evolução ambiental definiu condições de ambiente mais raso e contraiu o

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

A litologia basal corresponde ao estágio de estabilização do recife, provavelmente restrito à fase inicial da instalação do trato de sistema transgressivo, onde os altos topográficos pré-existent no substrato do mar de Pirabas, foram inundados e colonizados. O substrato duro deve ter sido disponibilizado a partir de fragmentos do fluxo biogênico inconsolidado e dos restos esqueléticos algálicos já viventes na área, formando pequenos refúgios de substratos duros compostos por restos inorgânicos que permitiam a fixação das larvas dos metazoários. Este processo de retroalimentação tafonômica favoreceu a continuidade do crescimento dos estágios subsequentes da bioconstrução, que guardava uma associação organísmica com reduzida competição por espaço e nutrientes. Considera-se também que a instalação da comunidade foi favorecida pelo nível de energia do meio, que trouxe abundantes elementos do fitoplâncton e maior oxigenação.

A litofácies intermediária representa a segunda fase de acreção biohermal- colonização, o primeiro pulso de colonização do recife, o primeiro substrato sólido e estável, com baixas diversidade e representatividade numérica. Encontrou condições ideais para se desenvolver quando o sistema deposicional passou para de trato transgressivo de mar alto, que aumenta o espaço de acomodação e permite crescimento vertical e lateral da comunidade seguida de acreção vertical e lateral tanto da construção quanto de comunidades juvenis, com o aumento da turbulência, instalação de um sistema de correntes que espalharam o fitoplâncton até o substrato do bioherma.

Por fim, a litofácies de topo corresponde à fase de diversificação do recife. Compreende a maior parte da massa recifal, onde a construção começa seu crescimento vertical em direção ao nível do mar. O número de táxons dobra, e a sua representatividade numérica atinge seu máximo, quando a concentração de esqueletos de corais produz um arcabouço fechado, e tornam-se muito frequentes fragmentos de moluscos e equinodermas, além de estruturas de bioturbação. Também fica bem evidente a contribuição do fluxo biogênico inconsolidado para o desenvolvimento mais rápido da bioconstrução, que aumenta a sua área abruptamente (Figuras 5A a 5C).

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

O supracitado horizonte delgado reconhecido na litofácies de topo (Figura 7) é melhor caracterizado em dois blocos que sofreram acentuado intemperismo, que o destacou como uma superfície mais rígida, provavelmente representa um segundo recife, que começou já no estágio diversificação. Este padrão pode indicar a existência de pelo menos dois recifes superpostos.

As relações estratigráficas ainda que sugeriu que o corpo lenticular do biohermito esteja encaixado no calcilituto (Figura 3), rocha extremamente endurecida, com estrutura maciça e, fósseis pouco frequentes de corais anermatípicos, e pequenos bivalvíos e gastrópodes. Esta litofácies, também aflorante apenas nesta praia, parece corresponder às áreas além dos flancos recifais, já que foram reconhecidos produtos recifais de granulação fina, outros sedimentos carbonáticos e conteúdo fóssilífero correspondente aos elementos mais abundantes do biohermito.

CONCLUSÕES

O estudo geológico e paleontológico do biohermito da Formação Pirabas permitiu caracterizar em detalhes neste paleomar, a existência de um dos ecossistemas mais complexos do ambiente marinho, que se desenvolveu provavelmente em trato de sistema transgressivo de mar alto, cuja presença de finas crostas micríticas no topo das camadas do estágio de diversificação sugere que seu desenvolvimento foi abortado pela continentalização da área, que degradou as condições ambientais impedindo a formação do quarto e último estágio de um recife. A assinatura tafonômica dos bioconstrutores principais, algas e corais escleractíneos, juntamente com os acessórios, briozoários, poríferos, equinoides, moluscos, foraminíferos e ostracodes indicam ambiente de alta energia, inclusive durante o evento deposicional de soterramento da biota ali encerrada. A malha complexamente fusionada de crostas fortemente cimentadas e de origem algálica, apresenta um arcabouço aparentemente mais aberto que o original, devido a ação do intemperismo físico e químico, que retirou grande parte do material preenchedor das cavidades naturais existentes entre os bioconstrutores macroscópicos, antes ocupadas por sedimentos carbonáticos de granulação fina e microfragmentos esqueléticos. Desta forma corrobora-se a necessidade de executar reconstruções geológicas no maior nível possível de detalhe, levando-se em conta todas as variáveis físicas, químicas e biológicas tanto no momento de sua formação quanto durante a história geológica posterior, do material em estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à G.R.L. Feio por ceder o equipamento necessário para as ilustrações do item petrografia e constituintes alóquemes, A.A.R. Santos pelo inestimável auxílio nos trabalhos de campo e ao F.H.G. Domingos pela execução das fotografias de alguns constituintes bióticos.

REFERÊNCIAS

- Adams, A. E., Mackenzie, W. S., Guilford, C. (1994). *Atlas of Sedimentary Rocks Under the Microscope*. New York: Longman Scientific & Technical.
- Costa, J. B. S., Borges, M. S., Bemerguy, R. L., Fernandes, J. M. G., Costa Jr, P. S. (1993). A evolução cenozoica da região de Salinópolis, nordeste do estado do Pará. *Geociências*, 12, 373-396.
- Davis Jr, R. A. (1983). Reefs and Carbonate Platform System. In: *Depositional Systems*. (2a ed., 485-527). New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Embry, A. F., Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian reef tract of northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of the Canadian Petroleum Geologists*, 19, 730-781.
- Folk, R. L. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *Bulletin of American Association Petroleum Geologists*, 43, 1-38.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestones types. *Bulletin of the American Association Petroleum Geologists*, Memoir 1, 62-84.
- Góes, A. M., Rossetti, D. F., Nogueira, A. C. R., Toledo, P. M. (1990). Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 2, 3-15.
- James, N. P. (1983). Reef Environment. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Memoir 33, 345-462.
- 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., Góes, A. M. (2004). Geologia. In: D. F. Rossetti, A. M. Góes. *O Neógeno da Amazônia Oriental* (13-52). Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi.

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*, Memoir 77, 1-448.

Tucker, M. E., Wright, V. P. (1990). *Carbonate Sedimentology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Villaça, R. (2009). Recifes Biológicos. In: R. C. Pereira, A. Soares-Gomes. *Biologia Marinha* (399-420). Rio de Janeiro: Editora Interciência.

Wray, J. L. (1977). *Calcareous Algae*. Developments in Palaeontology and Stratigraphy 4. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.