



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE BIOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ASPECTOS MORFOLÓGICOS DOS ESTROMATÓLITOS DA FAZENDA ARRECIFE EM
VÁRZEA NOVA, CHAPADA DIAMANTINA/BA

por

MARIA LUÍSA ALMEIDA DE SANTANA

Trabalho de Conclusão do Curso

apresentado ao Instituto de Biologia da Universidade
Federal Bahia como exigência para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Biológicas

Salvador, BA (2023)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE BIOLOGIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ASPECTOS MORFOLÓGICOS DOS ESTROMATÓLITOS DA FAZENDA ARRECIFE EM
VÁRZEA NOVA, CHAPADA DIAMANTINA/BA

por

MARIA LUÍSA ALMEIDA DE SANTANA

Trabalho de Conclusão do Curso

apresentado ao Instituto de Biologia da Universidade
Federal Bahia como exigência para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Biológicas

Nome da Orientadora: Elizabeth Gerardo Neves

Nome da Coorientadora: Carolina de Almeida Poggio

Salvador, BA (2023)

Data da Defesa: 13/07/2023

Banca Examinadora

Elizabeth Neves

Universidade Federal da Bahia

Orientadora

Jessika Alves Oliveira Pereira

Universidade Federal da Bahia

1º membro da banca

Alvandyr Dantas Bezerra

Universidade Federal da Bahia

2º membro da banca

RESUMO

Formações estromatolíticas constituem o perfil geológico de um paleoambiente localizado no Município de Várzea Nova, Chapada Diamantina (BA), compreendendo a área de estudo do presente trabalho. Identificados como 'recifes' pré-históricos, os estromatólitos no setor datam do Neoproterozóico, entre 1000-540 milhões de anos da formação do planeta. Estromatólitos são estruturas compostas por carbonato e sedimentos 'trapeados' pelas atividades de cianobactérias. As biohermas analisadas, localizadas dentro de uma propriedade rural, Fazenda Arrecife, representam testemunho de um mar ancestral, provavelmente raso, quente e hipersalino, condições imprescindíveis ao desenvolvimento das biohermas formadas por organismos fotossintetizantes. Com base em protocolos morfométricos e estatísticos, considerando biohermas (n=10) e respectivas colônias, visualizadas em planta e em perfil vertical. Os resultados revelaram padrão de caracterização das formações no setor. Independentemente do tamanho das biohermas não foi verificada diferença significativa entre os tamanhos das colônias observadas em planta. Além disso, também foi observada uma diferença entre as colônias das biohermas visualizadas em perfil, o que sugere variações de profundidade da lâmina d'água ao longo do período de desenvolvimento das colônias. Por fim, o estudo reflete a necessidade de se consolidar políticas de conservação dos geossítios e patrimônios históricos da Chapada Diamantina, expostos não apenas ao intemperismo natural, mas à degradação por ação antrópica.

ABSTRACT

Stromatolitic formations constitute the geological profile of a paleoenvironment located in the municipality of Várzea Nova, Chapada Diamantina (BA), comprising the study area of this work. Identified as prehistoric 'reefs', the stromatolites in the sector date back to the Neoproterozoic, between 1000-540 million years of the formation of the planet. Stromatolites are structures composed of carbonate and sediments 'trapped' by the activities of cyanobacteria. The analyzed bioherms, located within a rural property, Fazenda Arrecife, represent evidence of an ancestral sea, probably shallow, hot and hypersaline, essential conditions for the development of bioherms formed by photosynthetic organisms. Based on morphometric and statistical protocols, considering bioherms (n=10) and respective colonies, visualized in plan and in vertical profile. The results revealed the pattern of characterization of formations in the sector. Regardless of the size of the bioherms, there was no significant difference between the sizes of colonies observed in plants. In addition, a difference was also observed between the colonies of the bioherms viewed in profile, which suggests variations in the depth of the water layer over the period of development of the colonies. Finally, the study reflects the need to consolidate policies for the conservation of geosites and historical heritage of Chapada Diamantina, exposed not only to natural weathering, but to degradation by anthropic action.

AGRADECIMENTOS

Muitas foram as pessoas que contribuíram para que o desenvolvimento desse trabalho fosse possível. Agradeço a Universidade Federal da Bahia e a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, instituições onde eu tive o privilégio de trilhar o caminho que me levou até a conclusão do curso de Ciências Biológicas. Agradeço a todos os professores com quem tive contato durante o período da graduação, todos tiveram um importante papel na minha formação.

Agradeço em especial a professora Elizabeth Neves, que me acompanhou desde o meio da graduação, me ensinando e incluindo em projetos que foram essenciais para a minha formação profissional. Também agradeço especialmente a professora Carolina de Almeida Poggio, que sempre me apoiou e esteve disposta a ensinar da melhor maneira possível.

Agradeço a minha família, meus pais, minha irmã, minha tia e meus primos, que estiveram do meu lado a todo momento, me apoiando nas decisões que tomei, e sempre me incentivando a dar o melhor de mim e concluir meus objetivos.

Agradeço também a todos os amigos que estiveram comigo durante cada etapa do curso. Tanto os que conheci na graduação, quanto aqueles que estão comigo desde a adolescência, com certeza a presença de vocês tornou o percurso mais leve.

SUMÁRIO

Resumo

Abstract

Agradecimentos/dedicatória

Índice.....	i
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. CAPÍTULO 1 - FORMAÇÕES ESTROMATOLÍTICAS DA FAZENDA ARRECIFE (CHAPADA DIAMANTINA, BAHIA): ESTRUTURA E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS	5
INTRODUÇÃO	9
MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
RESULTADOS	18
DISCUSSÃO	22
CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	27
4. DISCUSSÃO GERAL	31
5. CONCLUSÕES GERAIS	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
7. ANEXOS.....	37

1. INTRODUÇÃO GERAL

Estromatólitos são estruturas biossedimentares formadas através de atividade sedimentológica e biológica de microorganismos em ambientes aquáticos, sendo considerados como a mais antiga evidência de vida macroscópica na Terra (Rocha, 2002; Mantesso-Neto, 2004). Esses microorganismos são capazes de aprisionar sedimento e provocar a precipitação de partículas de carbonato de cálcio, formando estruturas laminares que se sobrepõem (Bosak *et al.*, 2013). A sua ocorrência se dá, predominantemente, em ambientes deposicionais de carbonato, sendo o maior número de ocorrências relacionados aos dolomitos e calcários (Carvalho, 2010).

A sua definição ainda é muito debatida, uma vez que, muitos pesquisadores os consideram mais próximos aos icnofósseis do que aos fósseis verdadeiros, por não serem fósseis pertencentes a animais ou plantas, mas sim um produto da atividade biológica de microorganismos (Carvalho, 2010).

É conhecido que os estromatólitos se desenvolveram desde o Arqueano até o Holoceno, sendo abundantes até o Neoproterozóico, período a partir do qual ocorreu um grande declínio em sua abundância e diversidade (Silva *et al.*, 2013). De fato, os estromatólitos são encontrados em todos os continentes e, em maior frequência, em rochas datadas do período Pré-Cambriano (Carvalho, 2010).

Essas estruturas biossedimentares se formam sob condições ambientais específicas, em ambientes que possuem características favoráveis à sua formação. Dentre essas características estão: presença de fonte de energia que possibilite a atividade metabólica, matéria mineral particulada, presença de substrato e sistema aberto que contenha água, existência de população de microorganismos bentônicos, e ocorrência de episódios sísmicos que contribuam para a formação das estruturas laminadas (Walter, 1976; Carvalho, 2010).

Além disso, os estromatólitos podem se desenvolver de maneiras diferentes, em função das características ambientais. Os fatores que costumam influenciar a morfologia dos estromatólitos são: movimentação/agitação da água, correntes, profundidade, temperatura e salinidade da água, luminosidade e exposição (Carvalho, 2010; Romero *et al.*, 2015).

De acordo com a literatura, o processo de formação dos estromatólitos pode ocorrer de duas maneiras distintas. Na primeira delas, que acontece predominantemente em ambientes marinhos, cada célula do microrganismo produz um filme mucoso onde são aprisionadas as partículas sedimentares, e sobre esses sedimentos o crescimento dos microrganismos é continuado (Carvalho, 2010). Posteriormente o carbonato de cálcio que precipita da água, é cementado aos grãos sobre a estrutura formada anteriormente. A segunda maneira de formação ocorre quando a precipitação de carbonato de cálcio aprisiona poucas partículas de sedimento em sua estrutura, sendo esse o tipo de formação ocorre mais comumente em ambientes não marinhos (Carvalho, 2010). Dentre as características morfológicas e estruturais dos estromatólitos, aquelas que servem como base para a sistemática e classificação são a forma das estruturas que constituem as biohermas e biostromas, a espessura das laminações, a amplitude das lâminas e a distribuição dos microrganismos, e os cristais e minerais sedimentados (Walter, 1976).

As estruturas estromatólíticas podem ser estudadas a partir de diferentes escalas, sendo elas a macroescala (biohermas formadas a partir do arranjo dos estromatólitos), mesoescala (formato e laminação dos estromatólitos), incluindo aspectos referentes à textura e composição mineral (Rodriguez-Martinez, *et al.*, 2010).

Em relação à mesoescala, os estromatólitos podem se apresentar de três formas distintas: em colunas, em nódulos ou planares (Carvalho, 2010). A maior parte dos estromatólitos possui ramificações, sendo assim, uma única coluna pode produzir várias outras novas colunas ramificadas (Hofmann, 1973; Carvalho, 2010).

Nos estromatólitos que possuem forma colunar individual, é possível observar três variações no formato da coluna: (1) cilíndricas, onde a base do cilindro pode ser arredondada, irregular ou elipsoidal ou pseudo cilíndricas, sendo a coluna estreita na base e alargada no topo; (2) em formato de 'xícara', onde a base da coluna é mais estreita e mais larga próximo ao topo; ou (3) estratiforme, onde as laminações são irregulares ou como pequenas estruturas em forma de domo (Carvalho, 2010).

No Brasil existem diversos registros de estromatólitos, distribuídos ao longo de diversas unidades carbonáticas, e mais frequentemente naquelas datadas do período do Proterozóico, como por exemplo no Cráton do São Francisco, que compreende os estados de Minas Gerais, Bahia e Sergipe, e nas faixas Paraguai, que se estende da região Norte

à Centro Oeste, e Ribeira, que se estende do Uruguai até o Sul da Bahia (Sallun Filho e Fairchild, 2005).

Dentre esses registros, destacam-se os estromatólitos em metacalcário encontrados em Itapeva, no estado de São Paulo (Almeida, 1994). Esse foi o primeiro testemunho fóssil do pré-cambriano feito na América Latina, com estruturas identificadas nos dolomitos em 1944, pelo geólogo Fernando Flávio Marques de Almeida (Almeida, 1994; Mantesso-Neto et al., 2004).

Esses primeiros estromatólitos registrados na América Latina pertencem ao Grupo Itaiacoca, contido, em maior parte, na região Sudeste do Brasil, e se estendendo do estado de São Paulo até o Paraná (Sallun Filho et. al, 2010). A idade do grupo ainda é controversa, mas, estima-se que seja dividido em duas unidades distintas, a mais antiga composta por rochas carbonáticas e metabásicas datadas entre 1000 e 900 Ma, e a mais recente, composta de rochas metavulcanossedimentares, datas entre 636 e 628 Ma (Sallun Filho et. al, 2010). Características como a coloração clara, e o crescimento lateral assimétrico nos metadolomitos sugerem que esses estromatólitos tenham se desenvolvido em um ambiente de água limpa, com alta luminosidade, onde a taxa de acumulação de sedimentos se mostrava bastante lenta (William Sallun, et al., 2010).

Na Bahia existem diversos registros de estromatólitos, a grande maioria na região da Chapada Diamantina, que pertence ao Grupo Una, ou seja, compreendendo as formações Bebedouro e Salitre, e ao supergrupo Espinhaço, que na Bahia compreende as formações Morro do Chapéu, Tombador e Caboclo (Angonese, 2021).

A Fazenda Arrecife, localizada no município de Várzea Nova, na Chapada Diamantina, delimitada pelos meridianos de longitude oeste $41^{\circ} 01' 26''$ e $41^{\circ} 02' 40''$ e paralelos de latitude sul $11^{\circ} 05' 50''$ e $11^{\circ} 06' 50''$, abriga biohermas compostas por estromatólitos colunares que pertencem aos grupos Kussiellida e Conophytonida (Kussiella, Columnacollenia e Colonella) que ocorrem na formação Salitre, pertencente ao grupo Una, datado do período Neoproterozóico, e que se associam a sedimentos carbonáticos (Rocha, 2002).

Devido a sua localização em uma propriedade rural, e ao pouco acesso que a área possui, os estromatólitos da Fazenda Arrecife se encontram em bom estado de conservação, o que permite que diversos estudos sejam realizados no sítio (Rocha, 2002). A importância biológica, geológica e histórica desses afloramentos, que se localizam em uma área de fácil acesso, justifica a necessidade criação e adoção de medidas de

preservação da localidade (Rocha, 2002). Entretanto, observa-se que, além do processo de intemperismo natural, que tem promovido a remoção das placas superficiais sobre as biohermas, ação antrópica, particularmente relacionada à rotina de pisoteamento de animais em cativeiro, além de sinais de perfuração das rochas, podem também estar acelerando a degradação local.

Por representarem um patrimônio de valor histórico, é muito importante que os geossítios sejam preservados, evitando-se impactos antropogênicos, particularmente as atividades de extração mineral, que tem avançado pela Chapada Diamantina. E, assim, viabilizando uma continuidade dos estudos, os quais representam importante arcabouço ao conhecimento dos estromatólitos fósseis, mas à compreensão da evolução do paleoambiente ao cenário moderno (Alvarenga et al., 2016).

Adicionalmente, o estudo dos estromatólitos pode ser utilizado na determinação de antigas linhas de costa, auxiliando na interpretação de paleoambientes e paleogeográficas, paleocorrentes e variações no nível do mar (Sallun Filho e Fairchild, 2005).

Finalmente, o presente estudo traz uma dinâmica inédita de análise para as formações estromatolíticas da Fazenda Arrecife, auxiliando no reconhecimento e descrição da história geológica da Chapada Diamantina.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é caracterizar a morfologia dos recifes fósseis estromatolíticos em um setor da Fazenda Arrecife, localizada no município de Várzea Nova, na Chapada Diamantina/BA, visando produzir conhecimentos que corroborem com projetos educacionais e de conservação de ambientes carbonáticos do semiárido. Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a distribuição das formações estromatolíticas da localidade;
- Desenvolver análise morfométrica das estruturas estromatolíticas em planta.

**3. CAPÍTULO 1 - FORMAÇÕES ESTROMATOLÍTICAS DA FAZENDA ARRECIFE
(CHAPADA DIAMANTINA, BAHIA): ESTRUTURA E IMPLICAÇÕES
PALEOAMBIENTAIS**

MARIA LUÍSA ALMEIDA DE SANTANA

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, R. Barão de Jeremoabo, 668, 40170-115, Ondina, Salvador, BA, Brasil. maluforte@gmail.com

CAROLINA DE ALMEIDA POGGIO

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, R. Barão de Jeremoabo, s/n, 40170-290, Ondina, Salvador, BA, Brasil. cpoggio77@gmail.com (autor correspondente)

GERALDO MARCELO PEREIRA LIMA

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, R. Barão de Jeremoabo, s/n, 40170-290, Ondina, Salvador, BA, Brasil. geraldomarcelolima@gmail.com

CÍCERO DA PAIXÃO PEREIRA

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, R. Barão de Jeremoabo, s/n, 40170-290, Ondina, Salvador, BA, Brasil. ciceropp@uol.com.br

RODRIGO JOHNSON

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, R. Barão de Jeremoabo, 668, 40170-115, Ondina, Salvador, BA, Brasil. r.johnsson@gmail.com

ELIZABETH GERARDO NEVES

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, R. Barão de Jeremoabo, 668, 40170-115, Ondina, Salvador, BA, Brasil. elizabeth.neves@gmail.com

[Home](#) / [About the Journal](#)

About the Journal

The Revista Brasileira de Paleontologia (RBP) is an official publication of the Sociedade Brasileira de Paleontologia launched on 2001. The RBP is a fully open-access journal with quarterly number releases (March, June, September, and December).

Revista Brasileira de Paleontologia promotes the research and publishes original articles (normally 10-40 manuscript pages) and taxonomical and nomenclatural notes on all aspects of Paleontology. Papers must be written in English, Spanish, or Portuguese and are peer-reviewed by international experts. Proposals for symposium volumes should be discussed in advance with the editors.

The journal is currently indexed by BIOSIS, Current Contents, GEORef, Latindex, Portal Periódicos CAPES, Science Citation Index Expanded, and Zoological Record. Revista Brasileira de Paleontologia is a member of CrossRef.

Language

[English](#)[Español \(España\)](#)[Português \(Brasil\)](#)[Make a Submission](#)

Browse

ABSTRACT – Stromatolites are carbonatic structures originated from microorganism activity that trap fine sediment particles, precipitating calcium carbonate, and forming laminated structures. Due to the environmental conditions, the stromatolites are morphologically variable, supporting the reconstitution of ancient environments. Carbonate depositional systems derived from neoproterozoic stromatolites are found in the Chapada Diamantina (semi-arid region of the west center of the Bahia State), consisting of exquisite bioherms in pristine conservation. These structures may be observed in plan and in profile, revealing great didactic and scientific potential. Therefore, this study intends to characterize the structure of the stromatolite reefs present in a paleoenvironment in the Chapada Diamantina. As protocol, the bioherms and stromatolite colonies were described based on field analysis and measurements. The results support a trend in the bioherm development and shape. The bioherms are ellipsoidal in shape with a conspicuous directional pattern, with arrangement and distribution orientated to Northeast-Southwest (NE-SW), suggestive of the action of paleocurrents. The stromatolite colonies in these bioherms have 15 cm of diameter average, with rounded edges, sometimes lobed, suggesting the presence of ramifications in the columnar forms. In profile, it is possible to verify the stromatolite morphology, from the base to top, indicating an oscillation of the water depth over the time. The site may be interpreted as a shallow reef environment, composed of banks formed by stromatolites under the action of tidal currents, in subtidal conditions.

Key words: stromatolites, bioherms, morphology, paleocurrents

RESUMO – Estromatólitos são estruturas carbonáticas originárias da atividade de microorganismos que aprisionam partículas finas de sedimentos, precipitando carbonato de cálcio e formando estruturas laminadas. As características dos estromatólitos variam de acordo com as condições ambientais, e essas diferenças morfológicas são suporte a reconstituição de ambientes antigos. Sistemas deposicionais carbonáticos derivados de estromatólitos neoproterozóicos são encontrados na Chapada Diamantina (região semiárida do centro-oeste baiano), consistindo em biohermas em excelente estado de conservação. Estas estruturas podem ser observadas em planta e em perfil, revelando grande potencial didático e científico. O presente estudo pretende caracterizar a estrutura dos recifes de estromatólitos presentes em um paleoambiente na Chapada Diamantina. Como protocolo, as biohermas e colônias de estromatólitos foram descritas com base em observações de campo e medições. Os resultados sugerem uma tendência no desenvolvimento e forma de biohermas. As biohermas possuem formato elipsoidal com um padrão direcional conspícuo, com arranjo e distribuição orientados no sentido Nordeste-Sudoeste (NE-SW), sugestivo da ação de paleocorrentes. As colônias de estromatólitos nessas biohermas possuem 15 cm de diâmetro médio, com bordas arredondadas, às vezes lobuladas, sugerindo a presença de ramificações nas formas colunares. Em perfil é possível verificar a morfologia do estromatólito, da base para o topo, indicando uma oscilação da lâmina d'água ao longo do tempo. O local pode ser interpretado como um ambiente recifal raso, composto por bancos formados por estromatólitos sob a ação das correntes de maré, em condições subtidais.

Palavras-chave: estromatólitos, morfologia, paleocorrentes.

INTRODUÇÃO

Estromatólitos são depósitos sedimentares laminados de origem biogênica, sendo considerados como a mais antiga evidência de vida macroscópica na Terra, todavia, construídos por formas microscópicas – as cianobactérias (Kalkowsky, 1908; Burne & Moore, 1987; Rocha, 2002; Mantesso-Neto, 2004). Esses microrganismos são capazes de reter sedimento e provocar a precipitação de partículas de carbonato de cálcio, formando estruturas laminares que se sobrepõem (Carvalho, 2010).

Nas formas fósseis, a estrutura macroscópica preservada pode representar um vestígio de vida e, não necessariamente, restos do organismo fossilizado (Shapiro, 2007). Esses registros são classificados como um tipo de microbialito, i.e., ‘depósitos orgânicos sedimentares, litificados ou não produzidos pelo aprisionamento e adesão de grãos sedimentares ou minerais durante o desenvolvimento de comunidades microbianas bentônicas’ (*sensu* Spiller 2017).

Os estromatólitos podem apresentar uma grande variedade de formas e tamanhos que são resultados da interação entre as condições ambientais e as comunidades microbianas construtoras (Logan et al., 1964; Reid et al., 2003). As formas mais comuns costumam ser classificadas em: planar (esteiras), nodular e colunar (ramificados ou não, inclinados ou eretos) (Logan et al., 1964).

Os estromatólitos podem estar associados a uma grande diversidade de ambientes aquáticos - marinho, transicionais dulciaquícolas, hipersalinos, podendo ser indicadores de parâmetros como salinidade, alcalinidade, temperatura, profundidade, hidrodinâmica e, por isso, utilizados como ferramenta para a reconstituição de paleoambientes (**Figura 1**) (Hofmann, 1973).

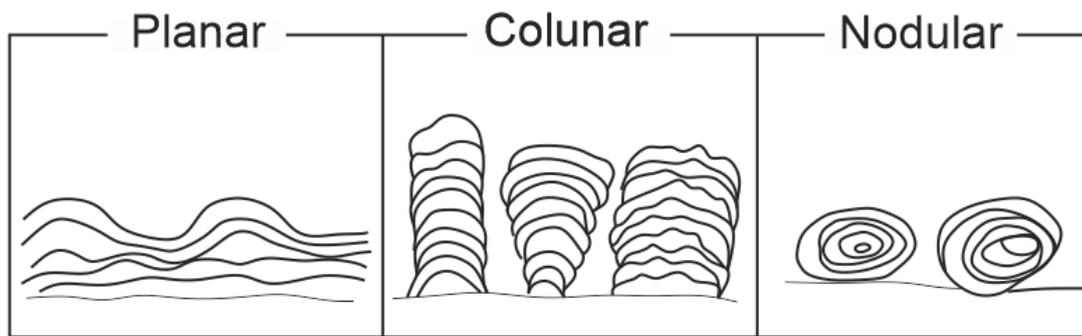


Figura 1. Esquema representativo das morfologias de estromatólitos vistos em perfil. Adaptado de Logan et al., 1964. Esquema: Ma. Luisa Almeida.

Embora os primeiros estromatólitos tenham sido registrados no Arqueano, foi entre o início e o meio do Éon Proterozóico que aumentaram significativamente em abundância, atingindo pico entre 1,3 e 1,1 bilhões de anos (Riding, 2006). Durante extensa escala do tempo geológico, representaram a forma de vida dominante no planeta, sendo nessa condição, os primeiros e os principais estruturadores de ambientes recifais em escala mundial (Wood, 1998).

Argumenta-se que o surgimento dos metazoários, entre o final do Proterozóico e o início do Cambriano, e as mudanças globais ocorridas no ambiente marinho, estariam associados ao declínio dos recifes estromatolíticos (Riding, 2006; Riding et al., 2019).

No Brasil, os estromatólitos mais antigos são encontrados em rochas do Paleoproterozóico, entretanto, seu registro é mais comum no Mesoproterozóico e Neoproterozóico (Fairchild et al., 2012).

Fósseis dessas eras foram registrados nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais e Bahia (Schobbenhaus et al., 2002; Winge et al., 2009; Winge et al., 2013). No município de Várzea Nova, situado na região da Chapada Diamantina Oriental (estado da Bahia), estromatólitos fósseis estão bem representados no geossítio da Fazenda Arrecife. São formações do Neoproterozóico, com estruturas laminadas muito bem preservadas, que atraem a atenção dos pesquisadores não apenas pela conservação, mas, a idade estimada em mais de 500 milhões de anos (Srivastava & Rocha, 2002).

Embora o geossítio seja de grande relevância científica, com potencial para educação ambiental e geoturístico reconhecidos (Srivastava & Rocha, 2002), não está inserido em nenhum tipo de Unidade de Conservação. A degradação das lâminas carbonáticas, inclusive, tem ocorrido por processo de intemperismo natural.

De fato, o geossítio faz parte de uma propriedade rural particular, sem diretrizes de manejo e/ou conservação que atendam às especificidades do patrimônio geológico. Assim, sem proteção regulamentada, encontra-se vulnerável ao mau uso.

Não obstante, há mais de uma década foi proposta a criação do 'Geoparque Morro do Chapéu', o qual abrangeria a Fazenda Arrecife, e vários outros sítios representantes de sistemas deposicionais pré-cambrianos existentes na mesma região (Rocha & Pedreira, 2012). Entretanto, apesar do valor patrimonial geológico e científico, poucas são as publicações sobre os recifes estromatolíticos fósseis da Chapada Diamantina.

Deste modo, o presente estudo se baseia em uma análise inédita, incluindo dados descritivos qualitativos e estatísticos, referente ao estudo de biohermas e colônias estromatolíticas do neoproterozóico em geossítio da Chapada Diamantina, visando difundir conhecimentos sobre paleoambientes no Centro-Oeste do estado da Bahia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Fazenda Arrecife (41° 01' 26"W/11° 05' 50"S, 41° 02' 40" W/11° 06' 50"S), compreende uma propriedade rural particular na Chapada Diamantina, ocupando uma área de aproximadamente 5,0 km², localizada no município de Várzea Nova, ao norte da cidade de Morro do Chapéu, setor centro-oeste do estado da Bahia (**Figuras 2, 3**). De acordo com Srivastava & Rocha (2002):

'Esse local abriga uma das mais impressionantes exposições de biohermas de estromatólitos colunares, associados a tempestitos, constituindo um notável exemplo de preservação de estromatólitos e de estruturas sedimentares. A natureza e a beleza desses afloramentos, que ocorrem numa área pouco povoada e de fácil acesso, aliadas a sua importância para a geologia e para a paleontologia do Neoproterozóico do Brasil, justificam a adoção de medidas para a sua preservação' - SIGEP, p. 96.

Apesar do intemperismo natural de um paleoambiente de 600 milhões de anos, e do uso voltado à manutenção de asininos, equinos e bovinos, a formação estromatolítica encontra-se em bom estado de conservação, com visualização das colônias e depósitos em perfil e em planta.

Na região da Chapada Diamantina existe, ainda, um outro setor onde é possível encontrar formações estromatolíticas. A Fazenda Cristal, localizada no município de Morro do Chapéu possui afloramentos compostos por estromatólitos estratiformes, domais e colunares (Srivastava & Rocha, 1999). Essas feições ocorrem em depósitos carbonáticos provenientes de um ambiente marinho raso que representa a base da formação Caboclo, pertencente ao grupo Chapada Diamantina, de idade Mesoproterozóica (Srivastava & Rocha, 1999).

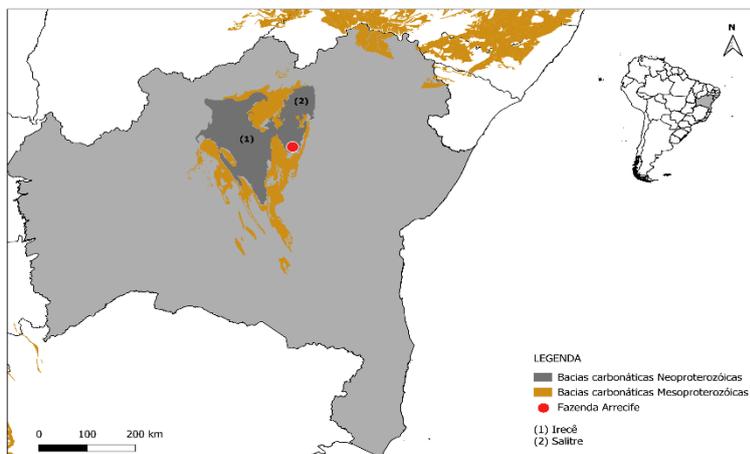


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo - Fazenda Arrecife - BA (QGIS Development Team, 2015 - Base de dados do IBGE, 2017). Mapa: Ma. Luísa Almeida

Embora identificado como um 'geossítio' e possa ser facilmente acessado pela estrada de terra que leva à zona rural, a liberação para visita deve ser solicitada previamente. A atividade, inclusive, foi executada com apoio de guia de Morro do Chapéu: Sr. Gilmar Novais. De fato, as características geológicas da propriedade fazem com que o local seja visitado anualmente por pesquisadores brasileiros e de outras partes do mundo.



Figura 3. Aspecto do substrato carbonático em paisagem de Caatinga no setor de estudo. Imagem: BIOC79 2022.2

A Fazenda Arrecife é uma propriedade rural submetida às atividades inerentes à criação de animais domésticos, estando, portanto, sob intenso processo de pisoteamento e degradação das lâminas carbonáticas. De fato, o geossítio é um patrimônio histórico de indiscutível valor para entendimento da evolução do cenário moderno. De um mar ancestral, observa-se uma paisagem heterogênea típica do bioma de Caatinga, em pleno semiárido baiano. Os solos calcários são comuns em áreas áridas e semiáridas geralmente resultantes da erosão de rochas carbonáticas.

Devido a essas características ambientais, observa-se na região a predominância de uma vegetação composta, principalmente, por árvores de pequeno porte, arbustos e subarbustos, destacando-se a presença de plantas com espinhos. Na região são comuns os representantes de gêneros de leguminosas, como *Acacia* e *Mimosa*, além de cactáceas, como o mandacaru (*Cereus jamacaru*), o xique-xique (*Pilocereus gounellei*), cabeça-de-frade (*Melocactus zehntneri*), a palma (*Opuntia cochenillifera*) e o quiabento (*Pereskia grandifolia*) (Giulietti et al, 2004; Machado, 1999).

Geologia

A Fazenda Arrecife está inserida na borda sul da bacia sedimentar do Salitre, que se inicia no município de Morro do Chapéu e deságua no Rio São Francisco, mais precisamente, no município de Juazeiro. A base da bacia tem composição siliciclástica, sendo formada por diamictitos, de origem glacial, sobrepostos por sedimentos de origem lacustre. A unidade foi recoberta por sedimentos marinhos, que ocupam centenas de metros de espessura, correspondentes ao Grupo Una, de idade Neoproterozóica (Misi & Kyle, 1994).

Nestas fácies estão inseridas as rochas carbonáticas, interpretadas como deposição de planície de maré de uma extensa plataforma, em condições climáticas áridas, sendo composta por duas unidades: Formação Bebedouro (basal) e Formação Salitre (Souza et al., 1993; Srivastava & Rocha, 2002).

A Formação Bebedouro compreende uma parte do centro do estado da Bahia, no setor oriental da Chapada Diamantina, e aflora de maneira descontínua em uma área de mais de 40.000 km², nas bordas das bacias de Irecê, Salitre, Una-Utinga e Ituaçu. A formação é constituída por argilitos, siltitos, arenitos e diamictitos, com seixos de composição variada e estruturas dropstones, considerada de origem glacial (Guimarães, 1996; Srivastava & Rocha, 2002).

A Formação Salitre constitui uma importante plataforma carbonática de idade proterozóica superior, formada por dolarenitos, calcarenitos e calcilutitos, e níveis de *chert* que foram retrabalhados através de ondas de tempestade, onde estão inseridas as estruturas estromatolíticas foco do presente estudo (Souza et al., 1993; Guimarães, 1996). Importante ressaltar que, '*cherts*' fossilíferos podem ser formados pela diagênese dos carbonatos oriundos de microfósseis de organismos marinhos (**Figura 4**).



Figura 4. *Chert* fossilífero da Fazenda Arrecife. Seta indicando cristais de calcita formados durante a diagênese de estromatólito. Imagem: E. Neves (BIOC79 2023.1).

Na Formação Salitre, portanto, são encontradas rochas que indicam deposição em ambiente marinho raso, com ação de ondas e marés, sendo rica em duas feições sedimentares distintas, biohermas e biostromas de estromatólitos, com morfologia e tamanho variados (Srivastava & Rocha, 2002).

Protocolos metodológicos

Caracterização das biohermas e colônias de estromatólitos e obtenção de dados

No presente estudo, o termo 'bioherma' foi adotado para as estruturas elípticas, irregularmente circulares, delimitadas por uma margem/parede de deposição sedimentar que abrigam um conjunto de colônias de estromatólitos. Ou seja, as biohermas são compostas por um número de colônias de tamanhos variados, as quais podem ser observadas em perfil horizontal ou em planta (**Figura 5**). Inclusive, verifica-se que muitas biohermas adjacentes compartilham suas 'paredes' sedimentares.



Figura 5. **A.** Bioherma estromatolítica em vista vertical. **B.** Vista em planta – números indicam colônias de estromatólitos dentro de uma única bioherma. Imagens: E. Neves (BIOC79. 2022.2, 2022.3).

Para coleta de dados morfométricos foram utilizados régua, trena, bússola/GPS (Garmin Modelo Etrex 10) e câmera fotográfica.

As análises foram desenvolvidas unicamente em estruturas dispostas em planta. Utilizando-se uma corrente de 10 metros, foram posicionados dois transectos dentro dos quais foram selecionadas aleatoriamente 5 biohermas (n total= 10 biohermas). Devido às formas irregulares das biohermas e colônias, valores médios foram obtidos a partir das medidas dos dois maiores eixos das estruturas (**Figura 7**). Importante destacar que, tanto as biohermas quanto os estromatólitos apresentavam feições em boa visibilidade, livres de vegetação e com limites/bordas bem definidos. As distâncias entre as biohermas analisadas foram medidas.



Figura 6. A. Protocolo de análise em campo. Bioherma em planta – eixos principais para cálculo do diâmetro. Seta indicando o limite/borda da bioherma **B.** Colônia de estromatólito – eixos principais para cálculo do diâmetro. Imagens: BIOC79 (2022.2, 2023.1)

Foram considerados dois grandes grupos de medidas: 1) biohermas com diâmetro médio $< 6,0$ m, mínimo de 10 estromatólitos selecionados aleatoriamente; e (2) biohermas com diâmetro médio $\geq 6,0$ m, entre 10 a 50 estromatólitos selecionados aleatoriamente. Medidas obtidas, em conjunto com as imagens e croquis do afloramento em perfil vertical, foram utilizados para registrar possíveis variações morfológicas dos estromatólitos no setor (lembrando que, só foram considerados aspectos qualitativos dessas estruturas). Deste modo, na área conhecida como 'tanque', duas seções de biohermas em cortes verticais, (posicionadas em paredes opostas) (**Figura 5A**), foram consideradas para descrever os morfotipos com base nos modelos descritos por Logan et al. (1964), Preiss (1976), Walter et al. (1992).

Análise dos dados

Foi realizada uma análise estatística descritiva com os dados das biohermas e dos estromatólitos. A fim de verificar o nível de relação entre as medidas dos eixos maiores e menores dos biohermas, foi realizada uma regressão linear, e calculado o coeficiente de determinação (R^2). O teste de Mann-Whitney, para dados não paramétricos, foi aplicado para verificar a existência de diferenças estatísticas significativas entre o diâmetro dos estromatólitos contidos nas biohermas de diferentes grupos de tamanhos ($< 6,0$ m vs $\geq 6,0$ m). A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov e o nível de significância considerado foi $\alpha=0,05$. Todas as análises estatísticas foram processadas no software PAST for Windows, versão 4.03.

RESULTADOS

Caracterização morfométrica das biohermas em planta

Todas as dez biohermas analisadas em apresentaram formato elíptico. Os valores obtidos para os eixos maiores variaram entre 5,1 e 13,9 m, e os menores entre 3,1 e 6,3 m. A regressão linear realizada entre os valores dos eixos maiores e menores resultou em um coeficiente de determinação (R^2) de aproximadamente 78% ($p<0,001$) (**Figura 7**), indicando uma relação significativa no tamanho dos eixos dos biohermas, justificando a sua forma alongada.

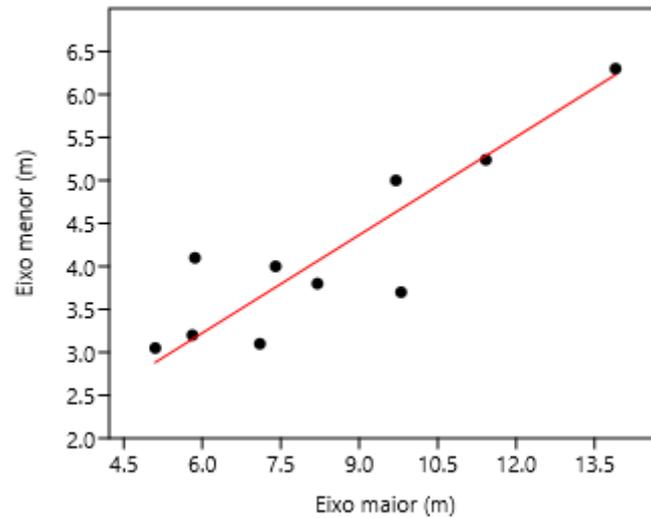


Figura 7. Dispersão dos pontos empíricos da relação linear entre o eixo maior e o eixo menor dos biohermas estudados em planta, na Fazenda Arrecife – BA ($R^2 = 0,77658$, $P < 0,0007$). Gráfico: Ma. Luisa Almeida.

Distribuição espacial das biohermas

A partir das observações e imagens feitas em campo, em conjunto com as medidas dos eixos das biohermas, dos estromatólitos e da distância entre as biohermas, foi produzido um desenho esquemático, com a finalidade de mostrar a disposição espacial geral dessas estruturas (**Figura 8**). A partir dessa análise foi possível verificar claramente uma tendência direcional das biohermas, evidenciada na morfologia alongada e na distribuição com orientação Nordeste-Sudoeste.

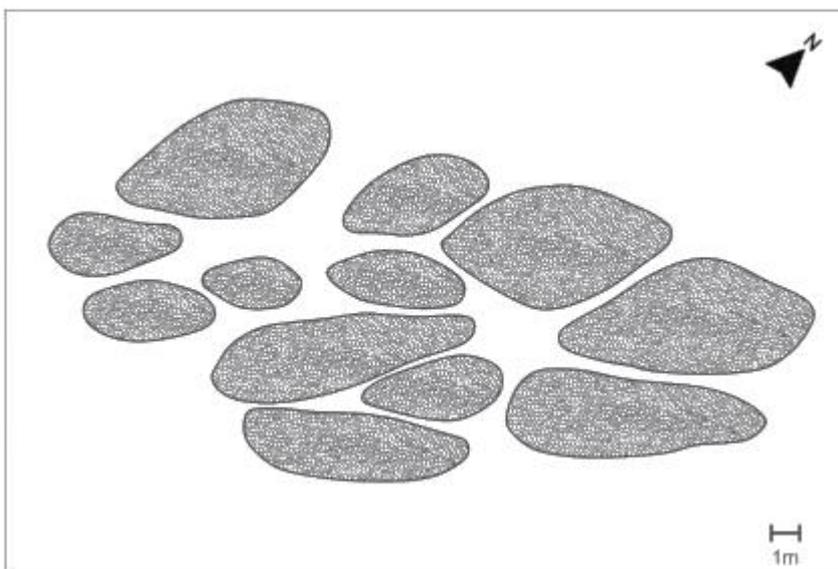


Figura 8. Esquema representativo da distribuição espacial dos biohermas estudados em planta, na Fazenda Arrecife – BA. Esquema: Ma. Luisa Almeida.

Caracterização morfométrica dos estromatólitos em planta

Considerando os dois grandes grupos de biohermas analisados ($< 6,0$ m, e $\geq 6,0$ m), foram medidos 290 estromatólitos, que em sua maioria, apresentou bordas arredondadas e, por vezes, lobadas (ver **Figura 6B**). Dentre eles, o menor apresentou diâmetro médio de 6,5 cm e o maior, de 39,5 cm. Em média, apresentaram 15,0 cm de diâmetro, tanto em biohermas menores (**Figura 9A**), quanto naqueles maiores ou iguais a 6,0 m (**Figura 9B**). O teste Mann-Whitney, realizado para verificar diferenças entre as médias de tamanho dos estromatólitos contidos nos diferentes grupos de biohermas, indicou que não houve variação significativa entre os mesmos ($p = 0,5308$). Dessa forma, os resultados mostram que os estromatólitos possuem diâmetro médio semelhante nos dois grupos de biohermas analisados, o que sugere que o tamanho das biohermas não interfere no diâmetro dos estromatólitos que os constituem.

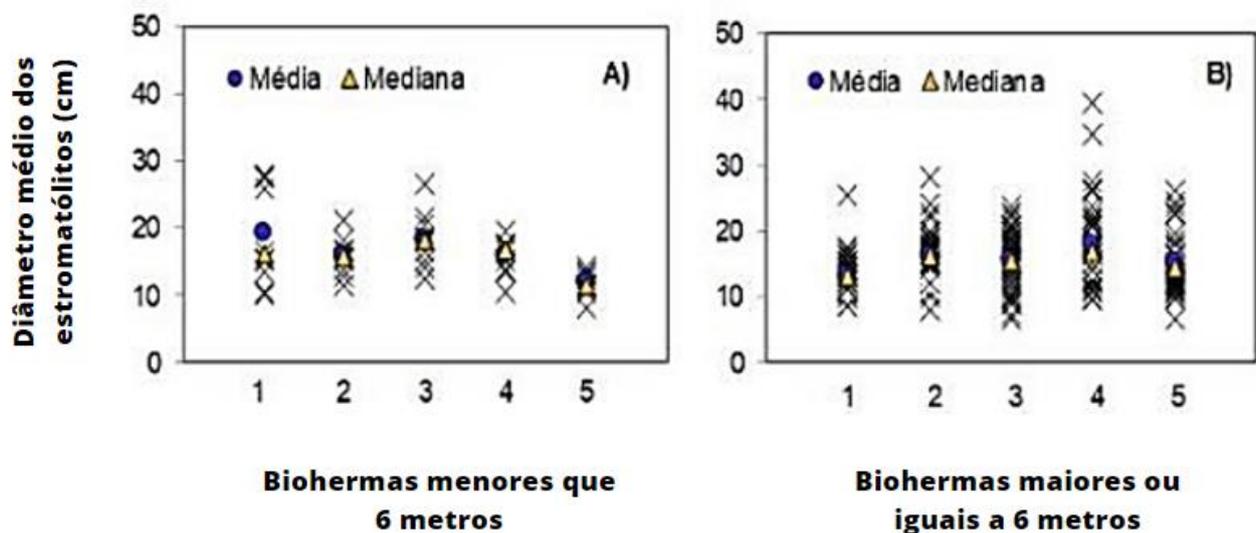


Figura 9. Distribuição das medidas, da média e da mediana, do diâmetro dos estromatólitos contidos em biohermas da Fazenda Arrecife (BA): A) $< 6,0$ m; B) $\geq 6,0$ m. Gráficos: C. Poggio.

Descrição dos morfotipos dos estromatólitos em perfil

Variações na morfologia dos estromatólitos foram observadas nas duas seções de cortes verticais das biohermas consideradas na área do tanque. A análise foi realizada por meio de observação direta dos estromatólitos sobrepostos da base até o topo do

afloramento. Na seção 1 (**Figura 10**), os estromatólitos presentes na base do perfil apresentaram formas predominantemente mais robustas, mais largos do que altos, em forma de domos. Já os estromatólitos contidos no topo apresentam dimensões menores, e possuem, geralmente, o comprimento maior do que a largura, com morfologia colunar e sem ramificações.

Na seção 2 (**Figura 11**), na base e no meio do perfil, foram observadas formas colunares bem definidas, geralmente retas, mas com dimensões distintas entre si. Na porção basal predominam colunas maiores, algumas vezes ramificadas e, sobrepostas a estas, encontravam-se colunas menores, com altura e largura próxima àquelas observadas na porção mediana e no topo da seção 1, anteriormente descrita. Por fim, no topo da seção 2, os estromatólitos apresentaram forma e tamanho uniformes, com aspecto de pequenas colunas, porém com indicativos de estarem interligadas, sugerindo continuidade lateral. Diferentes da seção anterior, alguns estromatólitos da seção 2 apresentaram ramificações, aparentemente do tipo alfa.

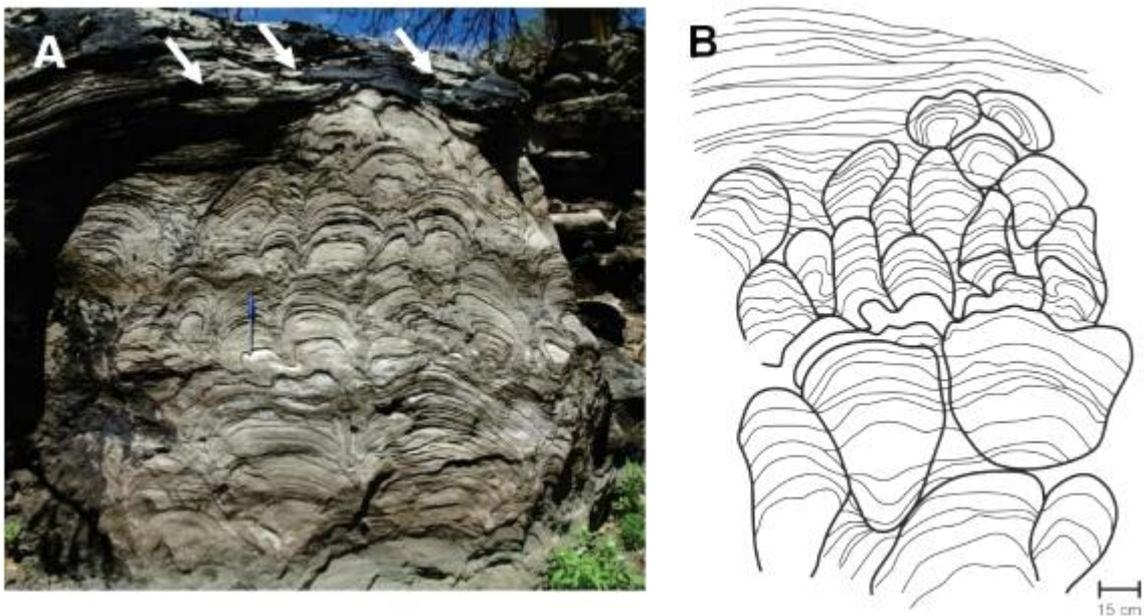


Figura 10. Bioherma vista em perfil, descrita como seção 1, e os morfotipos estromatolíticos constituintes. Setas apontam indícios de evento de sedimentação. A) imagem fotográfica; B) sugestão de representação esquemática. Seta em B indicando colônias mais alongadas em paleoambiente provavelmente mais profundo. Esquema: Ma. Luisa Almeida

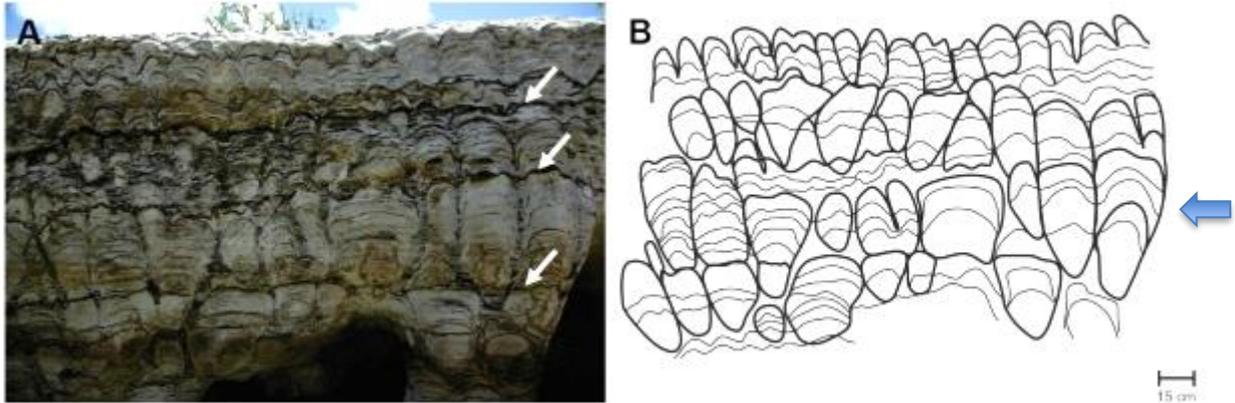


Figura 11. Bioherma vista em perfil, descrita como seção 2, e os morfotipos estromatolíticos constituintes. Setas apontam superfícies de reativação. A) Imagem fotográfica; B) Sugestão de representação esquemática. Seta em B indicando formas alongadas em paleoambiente provavelmente mais profundo. Esquema: Ma. Luisa Almeida.

DISCUSSÃO

Caracterização Geral dos Estromatólitos da Fazenda Arrecife

As análises realizadas permitiram a descrição do arranjo, forma e distribuição espacial das biohermas e estromatólitos da localidade. As biohermas medidas apresentaram correlação entre os seus dois principais eixos, resultante do formato elíptico, com orientação Nordeste-Sudoeste (NE-SW), sugerindo a ação de correntes de maré. Com base nas observações feitas em campo, assume-se que as biohermas apresentam um padrão direcional, que tipicamente ocorre nos afloramentos da Fazenda Arrecife. Para o mesmo setor, Srivastava & Rocha (2002) também ressaltam uma tendência direcional NE-SW para estromatólitos colunares presentes nas bordas de algumas biohermas – caracterizando como indicadores da direção de paleocorrentes. O alongamento horizontal em estromatólitos diminutos, nodulares a ramificados, observados nas calhas entre biohermas próximas tem sido igualmente sugerido como evidência da ação de correntes (Fairchild et al., 2015).

No presente estudo, o arranjo e a distribuição espacial observados das biohermas possibilitaram que fosse proposta uma reconstituição parcial do ambiente original onde os estromatólitos teriam se desenvolvido (**Figura 12**). Neste cenário, as formações estromatolíticas teriam formado bancos recifais, orientados pela corrente local, e

associados a canais. Os canais, por sua vez, teriam sido preenchidos por sedimentos classificados como '*graistones intraclásticos*', oriundos da erosão e degradação das próprias bioconstruções estromatolíticas. Esses resultados corroboram Srivastava & Rocha (2002), que mencionam a presença de um paleoambiente de '*patch-reefs*' em submaré rasa. Condições semelhantes foram verificadas em afloramentos sul-africanos, onde a morfologia e a orientação de biohermas e de grandes estromatólitos (superiores a 1,0 m de diâmetro) foram consideradas como sinalizadores de paleocorrentes, reforçando a importância desses microbialitos para caracterização paleoambiental (Visser and Grobler, 1972; Eriksson and Truswell, 1973; Gebelein, 1976).

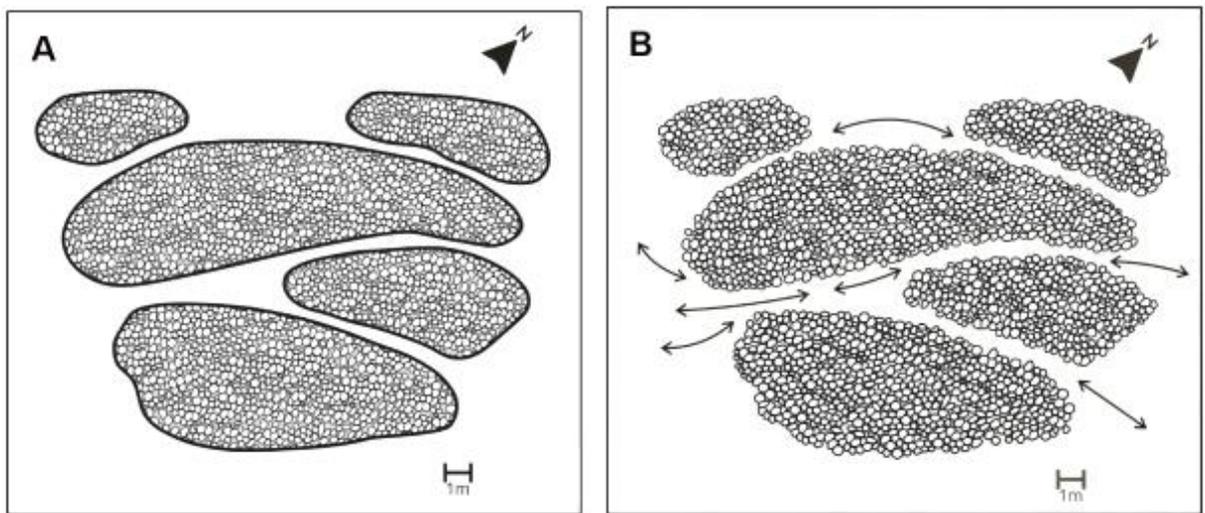


Figura 12. Desenho representativo mostrando a distribuição das biohermas em planta, com orientação NE-SW, juntamente com os estromatólitos constituintes. A) Feição das biohermas no afloramento atual; B) Proposta da reconstituição do paleoambiente, mostrando os bancos estromatolíticos. Setas indicam a ação de paleocorrentes. Esquema: Ma. Luisa Almeida.

Morfologia dos estromatólitos em planta

A morfologia dos estromatólitos vistos em planta apresentou algumas variações, refletidas essencialmente no contorno de suas bordas. Embora a maioria dos estromatólitos tenha apresentado bordas arredondadas, eventualmente, tanto nas biohermas menores quanto nas maiores, foi observada a presença de estromatólitos com bordas lobadas. Esse tipo borda, vista em planta, é relatada na literatura como resultado da presença de ramificações (Grey, 1989).

De fato, segundo Srivastava & Rocha (2002), bordas lobadas registradas em estromatólitos da Fazenda Arrecife são produtos da coalescência de ramificações e/ou bifurcações de algumas formas colunares. Embora as ramificações tenham sido observadas com certa frequência nos estromatólitos na área de estudo, ainda não há uma interpretação consolidada acerca da origem e significado paleoambiental.

A dificuldade para explicar os padrões de ramificações nos estromatólitos fósseis tem sido justificada pela falta de análogos modernos que pudessem ser utilizados como modelos, uma vez que ramificações raramente são observadas em estromatólitos recentes (Planavsky and Grey, 2008).

Alguns estudos sugerem que um dos principais agentes envolvidos na origem das ramificações seria a taxa de sedimentação no ambiente, mas fatores como hidrodinâmica, precipitação de carbonato, assim como o componente microbiológico (envolvidos no controle das variações morfológicas dos estromatólitos), também teriam papel relevante nos padrões das ramificações (Grotzinger & Knoll, 1999; Planavsky & Grey, 2008).

Além da morfologia, foi também avaliado o tamanho dos estromatólitos presentes no topo das biohermas. Verificou-se que o tamanho médio (15,0 cm) ocorreu independentemente do tamanho da bioherma. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas no tamanho médio dos estromatólitos, obteve-se valores mínimo e máximo relativamente discrepantes (variando entre 6,5 cm a 39,5 cm). Entretanto, existem registros provenientes de relatórios de campo (G. M. P. Lima, dados não publicados) de que estromatólitos de pelo menos duas classes de tamanhos distintos estariam distribuídos no centro e nas bordas das biohermas. O que poderia ser explicado pela ação de condições hidrodinâmicas divergentes nestas duas áreas, reproduzindo um modelo de 'zonação' como paralelamente observado nos recifes modernos.

Ou seja, enquanto a região central das biohermas proporcionaria um ambiente protegido e favorável ao desenvolvimento dos estromatólitos, com baixa ação hidrodinâmica, nas bordas, a ação mais intensa das correntes agiria como um fator de 'estresse ambiental', resultando em estromatólitos menos desenvolvidos. De fato, nos recifes costeiros, as áreas mais profundas, mais estáveis e de baixa energia, costumam abrigar colônias de corais maiores. Corais escleractíneos construtores de recifes abrigam microalgas endossimbióticas e se desenvolvem melhor em áreas mais expostas ao sol,

sendo, portanto, também dependentes de processos fotossintéticos para o desenvolvimento colonial (Leão et al. 2016).

Morfologia dos estromatólitos em perfil

A ocorrência de estromatólitos sobrepostos, com diferentes dimensões e formas, distribuídos verticalmente ao longo dos perfis analisados, é sugestivo de mudanças nas condições ambientais ocorridas ao longo do tempo. Tal proposta levou em consideração os atributos dos estromatólitos descritos por Logan (1961), Logan et al. (1964), Hofmann (1969, 1973) e revisados por Suosaari et al. (2019), podendo-se constatar que, a morfologia dos estromatólitos tende a refletir as condições do ambiente.

Nos trabalhos supracitados, os autores descrevem uma série de variações morfológicas em microbialitos recentes, procurando relacioná-las a diferentes condições de hidrodinâmica, sedimentação e profundidade, assim como as comunidades microbianas envolvidas na sua estruturação. Outros estudos também sugerem que as variações na estrutura dos microbialitos podem ser utilizadas como indicadores de fácies, relacionando-as a possíveis variações da lâmina d'água (profundidade) e hidrodinâmica (Visser & Grobler, 1972; Kah & Knoll, 1996; Olivier et al., 2003).

Na base de um dos perfis examinados foram verificados domos grandes e robustos, morfotipos que podem indicar uma condição de menor lâmina d'água quando comparado ao morfotipo colunar. Em geral, formas domais com topo mais largo (côncavo) do que a base, indicam um favorecimento ao desenvolvimento horizontal, o que sugere maior exposição e aproveitamento da luz solar. Por outro lado, as formas colunares alongadas na seção 1 (**Figura 10**) e na seção 2 (**Figura 11**) do afloramento, podem indicar um aumento no nível da água, portanto, propício ao desenvolvimento vertical dos estromatólitos. Em contraste, as formas observadas no topo da seção 2 (**Figura 11**), com aspecto de pequenas colunas aparentemente interligadas em suas laterais, revelam uma possível redução do nível da água. Ou seja, aspectos morfológicos dos estromatólitos, como aqueles observados nos subfósseis de corais escleractíneos ao longo da zona costeira, particularmente, as formações recifais do Litoral Norte (recifes de Guarajuba, Praia do Forte), são testemunhos das condições de um mar ancestral, com evidência diagnóstica da dramática oscilação do nível de sua lâmina d'água.

Entretanto, como não foram observados indícios de exposição subaérea nos estromatólitos presentes nas seções analisadas, é provável que em todas as situações acima descritas, os recifes de estromatólitos estivessem relacionados a ambiente marinho raso de inframaré. De acordo com Srivastava & Rocha (2002), e em contexto geral, o setor revela a evolução de um ambiente costeiro sob influência de correntes de maré.

Outra característica importante também observada na **Figura 10**, é a faixa de sedimentação no topo do afloramento, provavelmente causado por um evento de tempestade, que deve ter resultado, em tempo geológico mais recente ('pós-mar') no soterramento dos estromatólitos. Por sua vez, junto à **Figura 11** faixas (ver setas) separam períodos de tempo de 'pausa' e posterior desenvolvimento das colônias, tornando nítida a estratificação das gerações de estromatólitos que ocorreram no paleoambiente.

Sobre o crescimento colunar dos estromatólitos, Guimarães et al. (2002), descrevem o mesmo modelo para estromatólitos do Proterozóico na região de Morro Grande, Paraná. Segundo os autores, há uma associação com dololulitos, ou seja, fragmentos de dolomitos comumente depositados sob a influência de marés altas, situação em que uma espessa lâmina d'água recobre as estruturas. Esses achados corroboram com a hipótese de que as formas colunares dos estromatólitos são, muito provavelmente, formadas em condições de maior lâmina d'água.

Segundo Logan et al (1964), outro fator ambiental associado ao crescimento de estromatólitos colunares são os fluxos oscilatórios (ação de correntes e ondas). Os autores sugerem que em ambientes com grande fluxo de correntes e fluxos oscilatórios, o desenvolvimento lateral dos estromatólitos pode ser parcialmente inibido em detrimento ao crescimento ascendente, resultando em estromatólitos com formatos colunares. Bosak et al. (2013) justificam as formas colunares pela rapidez do processo de litificação em ambientes de águas rasas que datam do Proterozóico.

Por fim, apesar dos indícios da evolução do geossítio ter sido amplamente interpretado com suporte da morfologia/morfotipos dos estromatólitos, análises microestruturais (laminação), sedimentológicas e estratigráficas devem ser realizadas para construção mais robusta e conclusiva do cenário paleoambiental.

CONCLUSÕES

Na Fazenda Arrecife são encontrados estromatólitos que constituem afloramentos extremamente preservados e didáticos, expondo estruturas neoproterozóicas que podem ser visualizadas tanto em planta quanto em perfil – característica muito singular, relativamente rara nos demais afloramentos de mesma idade.

Os estromatólitos em planta estão organizados em bancos, representados por biohermas, formando um típico ambiente recifal.

A forma elíptica dos bancos, possui tendência direcional (NE-SW), e a presença de canais entre eles indicam influência de paleocorrentes.

A ocorrência de biohermas de tamanhos e formatos diferentes na base e no topo das biohermas também pode indicar influência diferenciada da hidrodinâmica local.

Em perfil foi possível constatar morfotipos diferenciados de estromatólitos da base até o topo nas seções do afloramento analisadas, com indicativos macroestruturais de variações da lâmina d'água relacionada à evolução de um ambiente costeiro raso, sob forte influência de correntes e de domínio inframareal.

REFERÊNCIAS

- Burne, RV & Moore, L. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 2: 241–254. <https://doi.org/10.2307/3514674>
- Eriksson, KA & Truswell, JF. 1973. High inheritance elongate stromatolitic mounds from the Transvaal Dolomite. *Palaeontologia Africana*, 15: 23–28.
- Fairchild, TR; Rohn, R & Pereira, CP. 2015. Microbialitos da Formação Salitre, Bacia de Irecê (Neoproterozoico), Chapada Diamantina (Bahia). Em: TR Fairchild; R Rohn & D Dias-Brito (eds.) *Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente: um atlas*, IGCE/UNESP, p. 195–247.
- Fairchild, T; Sanchez, E; Pacheco, M & De Moraes Leme, J. 2012. Evolution of Precambrian life in the Brazilian geological record. *International Journal of Astrobiology*, 11: 309–323. <https://doi.org/10.1017/S1473550412000183>

- Gebelein, CD. 1976. Open marine subtidal and intertidal stromatolites (Florida, The Bahamas and Bermuda). In: WR Walter (ed.) *Stromatolites*, Elsevier Amsterdam, p. 381–388.
- Grey, K. 1989. Handbook for the study of stromatolites and associated structures. *Stromatolite Newsletter*, 14: 82–17.
- Grotzinger, JP & Knoll, AH. 1999. Stromatolites in Precambrian carbonates: evolutionary mileposts or environmental dipsticks? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 27: 313–358. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.27.1.313>.
- Guimarães, JT. A Formação Bebedouro no Estado da Bahia: Faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação. Dissertação de mestrado, 235p. 1996.
- Hofmann, HJ. 1969. Attributes of stromatolites. *Geological Survey of Canada Paper*, Canada, Queens Printer, 58 p. <https://doi.org/10.4095/106437>.
- Hofmann, HJ. 1973. Stromatolites: characteristics and utility. *Earth Science Reviews*, 9: 339–373.
- Kah, LC & Knoll, AH. 1996. Microbenthic distribution of Proterozoic tidal flats: environmental and taphonomic considerations. *Geology*, 24: 79–82.
- Kalkowsky, E. 1908. Oolith und Stromatolith in nord-deutschen Buntsandstein. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 60: 68–125.
- Leão, ZMAN.; KIKUCHI, RKP.; FERREIRA, BP; NEVES, EG.; SOVIERZOSKI, HH.; OLIVEIRA, MDM.; MAIDA, M.; CORREIA, MD.; JOHNSON, R. 2016. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. *Brazilian Journal of Oceanography* v. 64, p. 97-116. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160916064sp2>
- Logan, BW. 1961. Cryptozoon and associate stromatolites from the Recent Shark Bay, Western Australia. *Journal of Geology*, 69: 517–533. <https://doi.org/10.1086/626769>
- Logan, BW; Rezak, R & Ginsburg, RN. 1964. Classification and environmental significance of algal stromatolites. *Journal of Geology*, 72: 68–83. <https://doi.org/10.1086/626965>.
- Misi, A & Kyle, JR. 1994. Upper Proterozoic carbonate stratigraphy, diagenesis, and stromatolitic phosphorite formation, Irecê Basin, Bahia, Brazil. *Journal of Sedimentary*

Research, 64: 299–310. <https://doi.org/10.1306/D4267D84-2B26-11D7-8648000102C1865D>.

Olivier, N; Hantzpergue, P; Gaillard, C; Pittet, B; Leinfelder, RR; Schmid, DU & Werner, W. 2003. Microbialite morphology, structure and growth: a model of the Upper Jurassic reefs of the Chay Peninsula (Western France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 383–404. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00236-0](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00236-0).

Planavsky, N & Grey, K. 2008. Stromatolite branching in the Neoproterozoic of the Centralian Superbasin, Australia: an investigation into sedimentary and microbial control of stromatolite morphology. *Geobiology*, 6:33–45. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2007.00116.x>

Preiss, WV. 1976. Basic field and laboratory methods for the study of stromatolites, In: WR Walter (ed.) *Stromatolites*, Elsevier Amsterdam, p. 5–13.

Reid, PR; James, NP; Macintyre, IG; Dupraz, CP & Burne, RV. 2003. Shark Bay stromatolites: microfibrics and reinterpretation of origins. *Facies*, 49: 45–53. <https://doi.org/10.1007/s10347-003-0036-8>

Riding, R. 2006. Microbial carbonate abundance compared with fluctuations in metazoan diversity over geological time. *Sedimentary Geology*, 185: 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.12.015>

Riding, R; Liang, L; Lee, J-H & Virgone, A. 2019. Influence of dissolved oxygen on secular patterns of marine microbial carbonate abundance during the past 490 Myr. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514: 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.10.006>

Rocha, AJD & Pedreira, AJ. 2012. Geoparque Morro do Chapéu (BA): proposta. Em: C Schobbenhaus & CR Silva (Org.). *Geoparques do Brasil: propostas*. CPRM Rio de Janeiro, p. 59–110.

Schobbenhaus, C; Campos, DA; Queiroz, ET; Winge, M; Berbert-Born, MLC. 2002. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM - SIGEP Brasília, 554 p.

Shapiro, RS. 2007. Stromatolites: A 3.5-billion-year ichnologic record. In: W Miller (ed) *Trace Fossils*, Elsevier Amsterdam, p. 382–390.

- Souza, SL; Brito, PCR & Silva, RWS. 1993. Estratigrafia, Sedimentologia e Recursos Minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia. Salvador, CBPM, Série Arquivos Abertos 2: 36p.
- Srivastava, NK & Rocha, AJD. 2002. Fazenda Arrecife, BA - Estromatólitos Neoproterozóicos. Em: C Schobbenhaus, DA Campos, ET Queiroz, M Winge & MLC
- Srivastava, NK & Rocha, AJD. 1999. Fazenda Cristal, BA - Estromatólitos Mesoproterozóicos.
- Berbert-Born (eds.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, vol.1, DNPM/CPRM, Brasília, p. 95–100.
- Spillwe, R. P. Reconstituição de paleoambientes com microbialitos do Brasil. 66. p. Monografia (Trabalho de conclusão do curso - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, 2017.
- Suosaari, EP; Reid, RP & Andres, MS. 2019. Stromatolites, so what?! A tribute to Robert N. Ginsburg. *Depositional Record*, 5: 486–497. <https://doi.org/10.1002/dep2.72>
- Visser, JNJ & Grobler, NJ. 1972. The transition beds at the base of the Dolomite Series in the northern Cape Province. *Transactions of the Geological Society of South Africa*, 75: 265–274.
- Walter, MR; Grotzinger, JP & Schopf, JW. 1992. Proterozoic stromatolites. In: JW Schopf & C Klein (eds.) *The Proterozoic Biosphere; A Multidisciplinary Study*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 253–260
- Winge, M; Schobbenhaus, C; Souza, CRG; Fernandes, ACS; Berbert-Born, M; Salun Filho, W & Queiroz, ET. 2013. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. v.3, Brasília, CPRM, 332 p.
- Winge, M; Schobbenhaus, C; Souza, CRG; Fernandes, ACS; Queiroz, ET; Berbert-Born, M & Campos, DA. 2009. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. v.2, Brasília, CPRM, 515 p.
- Wood, R. 1998. The ecological evolution of reefs. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 179–206. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.179>.

4. DISCUSSÃO GERAL

O acesso ao paleoambiente na Chapada Diamantina foi uma experiência inédita e de grande relevância ao entendimento da presença de um mar ancestral no setor. No local, resistem testemunhos de um microbioma de aproximadamente 600-500 milhões de anos, ainda pouco estudado, e exposto ao intemperismo natural.

Na região, os índices de carbonato de cálcio no solo são alto, fator que evidencia o caráter básico do solo, característica que aliada a outras condições ambientais, contribui para uma maior fertilidade e produtividade. Ademais, para fins de agricultura, a aplicação de calcário é uma das principais alternativas para a correção de solo, apresentando resultados positivos para o plantio de diversas culturas (Azevedo et al, 2021). Porém, na presente região do semiárido baiano, o baixo índice pluviométrico faz com que somente os altos índices de carbonato no solo não sejam suficientes para o desenvolvimento de diversos tipos de vegetação, e dessa forma, a região fique suscetível à desertificação (Costa et al, 2021).

Além do carbonato de cálcio, a região da Chapada Diamantina também é reconhecida pela presença de dolomita, granito, quartzito, chumbo, zinco, ouro, entre outros minerais e minérios (Ashantis, 2021; Rodrigues e Perris, 2021). A região já foi alvo de intensa atividade de mineração, onde eram extraídos, principalmente diamantes, carbonados, diretamente das áreas das margens de rios e de cursos d'água atuais e do passado, em locais onde hoje é sugerida a presença de paleocorrentes (Ashantis, 2021).

Inclusive, a partir de um trabalho descritivo sobre mineralização do chumbo e do zinco, conduzido por Cassedane, em 1964, que é revelada, pela primeira vez, a presença das estruturas estromatolíticas da Fazenda Arrecife (Srivastava e Rocha, 2002). Esse estudo foi essencial para o surgimento de novas pesquisas relacionadas aos estromatólitos na região.

Devido às características geológicas, a Fazenda Arrecife constitui um dos principais roteiros de educação e estudos científicos em geossítio, atraindo um grande número de professores, estudantes e pesquisadores, sendo utilizado para aulas práticas pelos cursos de Ciências Biológicas, Geologia e Geografia, envolvidos com o reconhecimento e caracterização das estruturas geológicas, o microbioma fóssil, a vegetação e demais aspectos do setor (Ashantis, 2021)

Finalmente, a adoção de medidas de conservação e manejo sustentável da propriedade, visando a proteção do geossítio, deve ser considerada de modo a atender às expectativas de preservação de um patrimônio natural testemunho da história de um paleoambiente pretérito à diversificação dos primeiros animais.

Apesar de não existirem no Brasil diretrizes específicas para a proteção de áreas que abrigam formações estromatolíticas (Vasconcelos et al, 2020), o Decreto-lei nº 25, de 30 de novembro de 1937 permite o tombamento de sítios fossilíferos pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) – adotando-se a prerrogativa de ‘categoria de monumentos naturais’. Sendo assim, as propriedades públicas e privadas que abrigam estromatólitos são passíveis de tombamento, podendo ser encaixadas dentro da categoria de monumentos naturais. Porém as exigências e trâmites documentais necessários fazem com que a maioria dos geossítios inseridos em propriedades rurais particulares não seja registrada pelos proprietários e, assim, seguem sem o manejo devido (Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2019).

5. CONCLUSÕES GERAIS

Amalgama entre educação e pesquisa foi consolidada a partir de prática disciplinar de componente da matriz curricular do Curso de Ciências Biológicas (BIOC079 – Introdução a Biologia e Ecologia dos Recifes), durante a qual foram conduzidos protocolos de análise *in situ* e coleta de dados que elencaram informações inéditas sobre as formações estromatolíticas em setor de geossítio – resultando em melhor contextualização sobre as variáveis ambientais que provavelmente influenciaram o desenvolvimento e as morfologias de microbioma fóssil marinho.

O geossítio da Fazenda Arrecife possui inestimável valor científico e, além de relevante patrimônio natural, representa importante laboratório para ensino e aprendizagens práticas sobre a Geologia e Paleontologia da Chapada Diamantina. De fato, as formações estromatolíticas representam um ambiente deposicional carbonático presente, abundantemente, nas fácies geológicas do setor. Na propriedade, entretanto, as estruturas são acessíveis e encontram-se bem preservadas.

Foi obtido o diagnóstico de um cenário paleoambiental constituído por afloramentos de sedimento e carbonato produzidos por cianobactérias a mais de 500 milhões de anos.

Didaticamente, as estruturas podem ser examinadas em dois cortes, perfil e em planta. As diferenças morfológicas observadas em perfil sugerem uma variação da lâmina d'água e a influência de correntes em provável zona de domínio inframareal.

Por fim, observa-se um paralelo entre o recife estromatólito ancestral com o ambiente recifal costeiro, considerando dois modelos de ecossistemas dependentes do sol e do desenvolvimento de organismos altamente influenciados pelos processos fotossintéticos (i.e, cianobactérias e corais zooxantelados).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M. de. 1944. *Collenia itapevensis* sp.n. - um fóssil pré-cambriano do Estado de São Paulo. **Boletim da faculdade de filosofia, ciências e Letras, Universidade De São Paulo**, São Paulo, n. 12, p 89-106, 1944.

ALVARENGA, L. J. et al. Conservação do estromatólito do Tejuco, São João del Rei, Minas Gerais: contributos à geomonumentalização a partir de um diálogo entre Brasil e Portugal. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.42, n.2 ,p 276-280, 2016.

ANGONESE, B. S. **Estromatólitos siliciclásticos da Formação Caboclo, Mesoproterozoico da Chapada Diamantina, BA**. 90 p. Monografia (Trabalho de conclusão do curso - Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ASHANTIS, Aciel. **Patrimônio geológico e geodiversidade das minas históricas da Chapada Diamantina, no contexto da proposta do geoparque Morro do Chapéu, Bahia**. Dissertação (Mestrado), Mestrado em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos, 2021.

AZEVEDO, M. C. et al. Produtividade de genótipos de cana de açúcar em resposta à aplicação de calcário em microclima do semiárido brasileiro. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 7, p. e34710716784. 2021.

BOSAK, T.; KNOLL, A. H.; PETROFF A. P. The Meaning of Stromatolites. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**. v. 44, n. 1, p. 21–44. 2013.

CARNEIRO, V. A. **Geodiversidade: envolvências e experiências**. 1 ed. Anápolis: SAMA - Solo, Água e Meio Ambiente, 2022.

CARVALHO, I. S. **Paleontologia: conceitos e métodos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2010.

COMPIANI M. & CARNEIRO C. Os papéis didáticos das excursões geológicas – Investigaciones y experiencias educativas. **Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v.1, n. 2, p. 90- 98. 1993.

COSTA, T. S. et al. Tendência e variabilidade anual da pluviosidade no município de Morro do Chapéu, Bahia, Brasil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma**, v.18, n.2, p. 1-15. 2021.

GIULIETTI, A. M. et al. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.

GUIMARÃES, S. B. et al. Caracterização dos estromatólitos da Formação Capiru (proterozóico) nas regiões de Morro Azul e Morro Grande: leste do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 51, p. 77-88. 2002.

HOFMANN, H. J. Stromatolites: Characteristics and utility. **Earth-Science Reviews**, v.9, n. 4, p. 339-373, 1973.

LEGISLAÇÃO. **Sociedade Brasileira de Paleontologia**, 2019. Disponível em: <https://sbpbrasil.org/legislacao-brasileira/>. Acesso em: 18 de junho de 2023.

MACHADO, M. The cacti of Morro do Chapéu, Bahia, Brazil. **British Cactus & Succulent Journal**, United Kingdom, v.1, n. 4, p.203-213. 1999.

MANTESSO-NETO, V. et al. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. 1ª ed. São Paulo: Beca, 613 p. 2004.

ROCHA, A.J.D.; SRIVASTAVA, N.K. Fazenda Arrecife, BA, Estromatólitos Neoproterozóicos. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**, v. 1, p. 63-71, 2002.

RODRIGUES, Livia da Silva Modesto; PERRIS, Paulo André da Rocha. **Tecnologia e gestão do conhecimento no território de identidade de Irecê - TII**. 1 ed. Belo Horizonte: Poisson, 2021.

RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, M. et al. Estromatolitos: las rocas construidas por microorganismos. **Reduca (Geología)**. Serie Paleontología, v. 2, n. 5, p. 1-25, 2010.

ROMERO, G. R. **Geobiologia de microbialitos do Ediacarano da faixa Paraguai e sul do Cráton Amazônico (MS e MT): implicações paleoambientais, paleoecológicas e**

estratigráficas. 215 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SALLUN, W. F.; FAIRCHILD, T. R. Estudo comparativo entre estromatólitos do tipo *Conophyton* das Ribeira e Brasília. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 26, n. 1/2, p. 1-18, 2005.

SALLUN, W. F. et al.. Estromatólitos de Nova Campina e Itapeva, SP. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília, v. 2, p. 127-142. 2020.

SALLUN, W. F.; FAIRCHILD, T. R. Estromatólitos do grupo Itaiacoca ao sul de Itapeva, estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**. São Paulo, v. 7, n. 3, p. 359-370. 2004.

SILVA, L. H. da S. e; ALVES, S. A. P. M. do N.; MAGINA, F. C.; GOMES, S. B. V. C. Composição cianobacteriana e química dos estromatólitos da lagoa Salgada, Neógeno do estado do Rio de Janeiro, Brasil . **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 95-106. 2013.

SILVA, J. C. L. **O supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina centro-oriental, Bahia: sedimentologia, estratigrafia e tectônica**. 174 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VASCONCELOS, A. G et al. Stromatolites in Caves in Southeastern Brazil and their Importance to Geoconservation. **Geoheritage**, v. 2, n. 2, p. 12-48. 2020.

WALTER, M. R., ed. **Stromatolites**. Elsevier, 1976.

7. ANEXOS



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo - Fazenda Arrecife - BA (QGIS Development Team, 2015 - Base de dados do IBGE, 2017). Mapa: Ma. Luísa Almeida



Figura 2. Aspecto do substrato carbonático em paisagem de Caatinga no setor de estudo. Imagem: BIOC79 2022.2



Figura 3. *Chert* fossilífero da Fazenda Arrecife. Seta indicando cristais de calcita formados durante a diagênese de estromatólito. Imagem: E. Neves (BIOC79 2023.1).



Figura 4. **A.** Bioherma estromatolítica em vista vertical. **B.** Vista em planta – números indicam colônias de estromatólitos dentro de uma única bioherma. Imagens: E. Neves (BIOC79. 2022.2, 2022.3).



Figura 5. A. Protocolo de análise em campo. Bioherma em planta – eixos principais para cálculo do diâmetro. Seta indicando o limite/borda da bioherma **B.** Colônia de estromatólito – eixos principais para cálculo do diâmetro. Imagens: BIOC79 (2022.2, 2023.1)

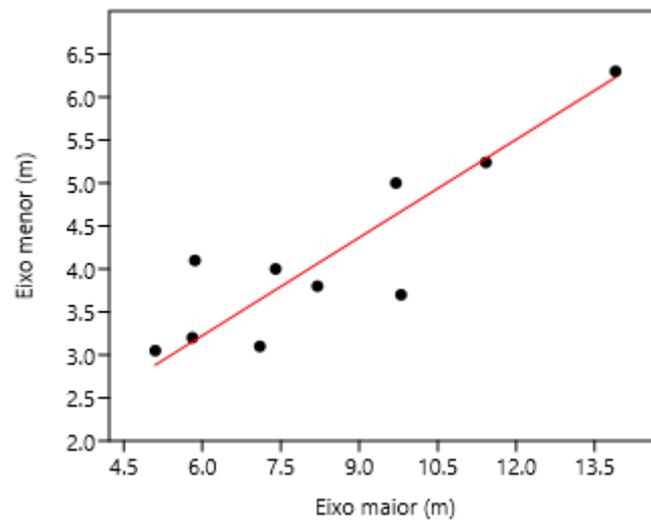


Figura 6. Dispersão dos pontos empíricos da relação linear entre o eixo maior e o eixo menor dos biohermas estudados em planta, na Fazenda Arrecife – BA ($R^2 = 0,77658$, $P < 0,0007$). Gráfico: Ma. Luisa Almeida.

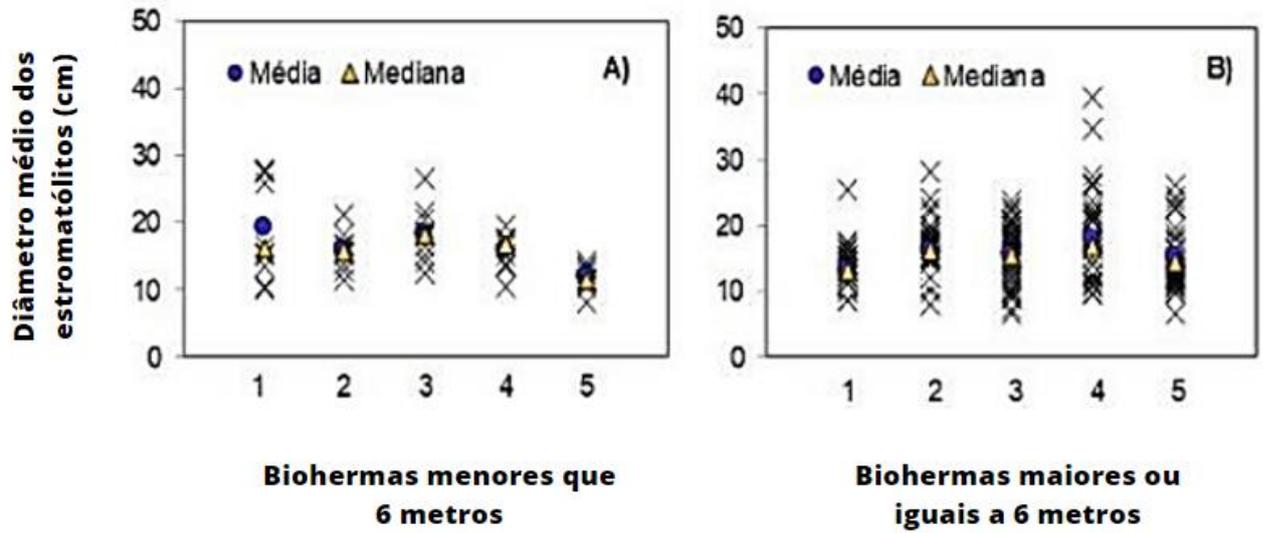


Figura 8. Distribuição das medidas, da média e da mediana, do diâmetro dos estromatólitos contidos em biohermas da Fazenda Arrecife (BA): A) $< 6,0$ m; B) $\geq 6,0$ m. Gráficos: C. Poggio.

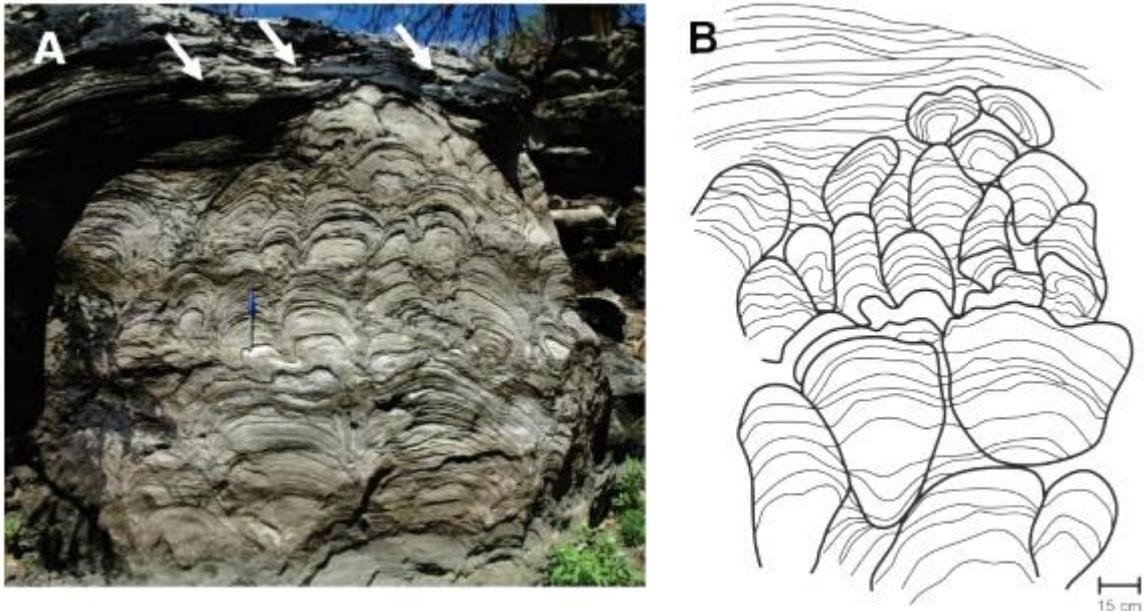


Figura 9. Bioherma vista em perfil, descrita como seção 1, e os morfotipos estromatolíticos constituintes. Setas apontam indícios de evento de sedimentação. A) imagem fotográfica; B) sugestão de representação esquemática. Seta em B indicando colônias mais alongadas em paleoambiente provavelmente mais profundo. Esquema: Ma. Luisa Almeida

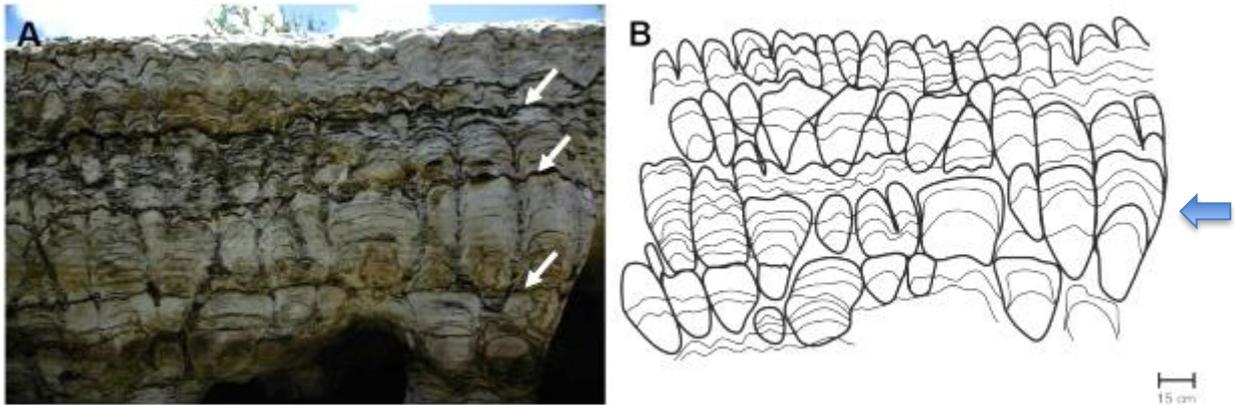


Figura 10. Bioherma vista em perfil, descrita como seção 2, e os morfotipos estromatolíticos constituintes. Setas apontam superfícies de reativação. A) Imagem fotográfica; B) Sugestão de representação esquemática. Seta em B indicando formas alongadas em paleoambiente provavelmente mais profundo. Esquema: Ma. Luisa Almeida.

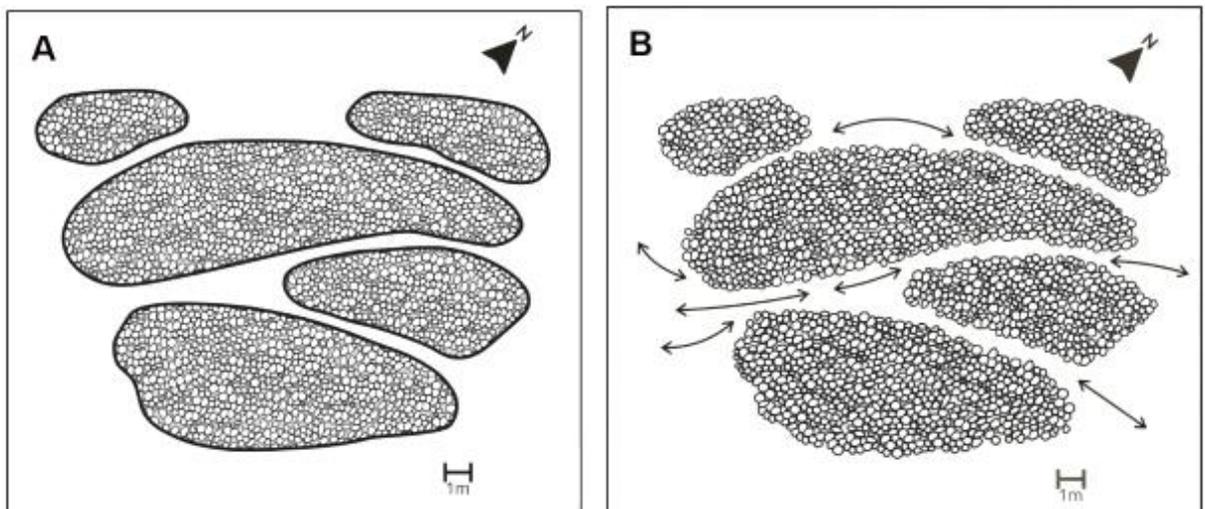


Figura 11. Desenho representativo mostrando a distribuição das biohermas em planta, com orientação NE-SW, juntamente com os estromatólitos constituintes. A) Feição das biohermas no afloramento atual; B) Proposta da reconstituição do paleoambiente, mostrando os bancos estromatolíticos. Setas indicam a ação de paleocorrentes. Esquema: Ma. Luisa Almeida.