

A atividade microbiana no processo sedimentar

Evidências à escala macroscópica

CITAÇÃO

Duarte, L. V., Azerêdo, A. C. (2022)
A atividade microbiana no processo sedimentar,
Rev. Ciência Elem., V10(02):029.
doi.org/10.24927/rce2022.029

EDITOR

João Nuno Tavares
Universidade do Porto

RECEBIDO EM

21 de abril de 2022

ACEITE EM

22 de abril de 2022

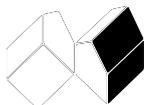
PUBLICADO EM

15 de junho de 2022

COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2022.
Este artigo é de acesso livre, distribuído sob licença Creative Commons com a designação [CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite a utilização e a partilha para fins não comerciais, desde que citado o autor e a fonte original do artigo.

rce.casadasciencias.org



Luís V. Duarte*, Ana C. Azerêdo[†]

* MARE/ DCT/ Universidade de Coimbra

[†]DG/ IDL/ FC/ Universidade de Lisboa

A microbiologia trata do mundo que não se vê, como tal, invadido de espécies e espécimes de micro-organismos, onde se incluem bactérias, protozoários, fungos e algas mais minúsculas, e...os vírus. Os tais de que tanto se tem falado nos dois anos transatos, maléficos e controversos quanto à sua definição e posicionamento biológico. Se este é um lado conhecido da biologia, e ao mesmo tempo repleto de tantas interrogações, o que dizer sobre a ação e o papel dos micróbios ao longo das centenas de milhões de anos da história da Terra. Eles que terão sido os primeiros habitantes do planeta! Os registos que são hoje pesquisados em território marciano, desde a chegada do rover *Perseverance* ao dito planeta “vermelho”. Em clara ascensão, a geomicrobiologia tem como objetivo o estudo das estruturas desses micro-organismos, bem como o resultado da sua atividade nos complexos processos geoquímicos, que terão ocorrido ao longo da história da Terra. Uma área da ciência que interseta campos tão diversos como a metalogenia, a hidrogeologia e a contaminação ambiental¹. Apesar das múltiplas abordagens, é essencialmente no registo sedimentar que observamos, à vista desarmada, o resultado da influência da atividade microbiana, que permite interpretar histórias paleoambientais e paleoclimáticas de tempos remotos. Este texto tem como objetivo identificar e ilustrar, de modo muito sintético, algumas das principais tipologias litológicas, à escala macroscópica, resultantes da ação microbiana. Desde o Proterozóico (Pré-Câmbrico) ao Atual e com exemplos da geologia portuguesa e de outras partes do globo. Lugares e intervalos estratigráficos que foram objeto de observação *in situ*.

O imenso registo geológico de natureza sedimentar ostenta variadíssimos tipos de estruturas e acumulações/construções de natureza microbiana, bentónica, os chamados microbialitos^{2,3}. Estes são depósitos e estruturas biossedimentares, que resultam ou resultaram da atividade metabólica de micro-organismos, associados à sedimentação, que induzem ou influenciam a precipitação química de diversos minerais, com especial ênfase de carbonatos. Uma atividade que também tem a particularidade de poder apri-

sionar, interligar e litificar outros tipos de sedimentos. Entre as diversas estruturas, e independentemente dos contextos deposicionais e das classificações mais ortodoxas, contam-se no registo sedimentar vários tipos de morfologias, onde se incluem os mais conhecidos estromatólitos. Por definição, depósitos microbianos laminados, estratiformes, em doma ou colunares. Acrescem outras tipologias, como os oncólitos (com estrutura laminada concêntrica) e as edificações não laminadas como os trombólitos (formados por agregados de partículas peloidais e grumosas), dendrólitos (morfologia filamentosa dendrítica) e os leiólitos (sem qualquer estrutura interna), algumas delas a ganharem maior importância na análise à escala microscópica⁴.

É sabido que a vida na Terra terá começado no meio aquático, confirmada através da ocorrência dos primeiros estromatólitos. Corpos bioconstruídos, laminados, que resultaram da precipitação química carbonatada, génese associada à atividade de micro-organismos, dos mais “básicos” em termos celulares, onde se incluem as cianobactérias. Algo que poderá ter sido anterior aos mais que confirmados registos de Pilbara, de há cerca de 3,5 mil milhões de anos (Arcaico), na remota Austrália Ocidental⁵. Este tipo de micro-organismos terá dominado os oceanos do planeta por muitas centenas de milhões de anos, sendo praticamente as únicas evidências de vida até se atingir a grande explosão fanerozoica. São vários os exemplos de registos sedimentares conhecidos por esse mundo fora, e que atravessam toda a tabela cronostratigráfica. Para além das primeiras ocorrências de Pilbara, sobressaem os exemplos atuais da vizinha Baía dos Tubarões, o clássico dos clássicos de entre os corpos estromatólíticos atuais^{6,7}. Mas, entre estes, destacam-se outros tipos de construções microbianas, em lugares tão diferentes do planeta, como a zona costeira do Abu Dhabi (Emirados Árabes Unidos) (FIGURA 1)⁸ e a Lagoa Vermelha, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil⁹ (FIGURA 2A)). Evidências de registos que, não sendo assim tão comuns, merecem ser sempre lembrados ao comum do cidadão pela singularidade e o seu importante significado (FIGURA 2B)). Com texturas, estruturas e contextos geológicos e mineralógicos algo diferenciados, mas com algumas características semelhantes comuns a todos eles: condições de nível de água muito raso, em ambientes margino-marinho, lagunar, supramareal ou lacustre e com um clima em geral árido a semiárido, resultado da muito baixa pluviosidade. Como são os casos da Baía dos Tubarões e das planícies de inundação de maré do Abu Dhabi, que mostram valores médios anuais abaixo, respetivamente, de 80 e 230 mm. A água do mar é por isso hipersalina (chegando a valores de salinidade acima de 40 g/kg), condicionando toda uma cadeia alimentar bastante restrita. No caso da Península Arábica, os tapetes microbianos (*algal mats*) inserem-se num contexto excepcional de sedimentação carbonatada, de tal modo que constituem um dos exemplos mais conhecidos no domínio da sedimentologia em ambiente hipersalino⁸. O registo sedimentar e biológico é tão singular, à semelhança do da Baía dos Tubarões na Austrália, que ambos os locais têm a chancela de Património Mundial da UNESCO. No caso do Golfo Pérsico, as bactérias e a conseqüente matéria orgânica que se vai acumulando (FIGURA 1), mantêm-se preservadas dos predadores e que, perante ambiências tão inóspitas, até podem não existir. O resultado é uma acumulação contínua de sedimentos de natureza carbonatada (entre todos os aspetos faciológicos de plataforma marinha rasa), orgânica e evaporítica (esta última a circunscrever-se, preferencialmente, à zona supramareal).

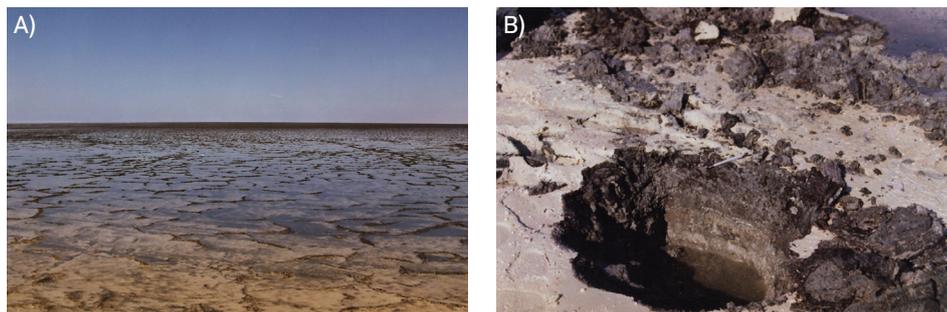


FIGURA 1. Tapetes microbianos (cianobactérias) na planície de inundação de maré holocénica de Abu Dhabi (Emirados Árabes Unidos). A) Zona intermareal, com a típica acumulação microbiana (*algal mats*). A forma poligonal corresponde a fendas de dessecação, que resultam da momentânea exposição subaérea. B) Aspeto da grande acumulação vertical de matéria orgânica de origem microbial.

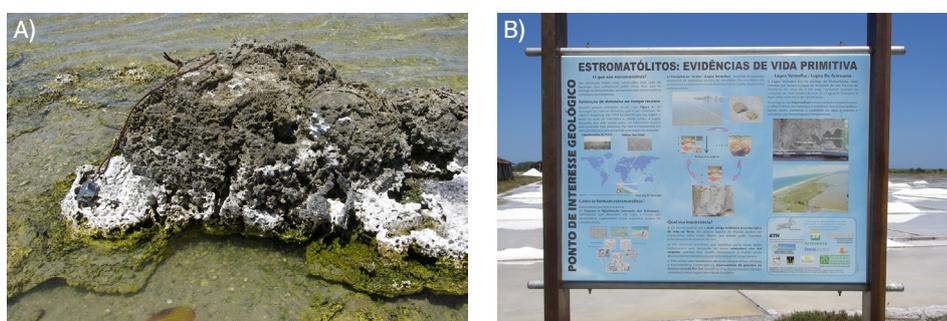


FIGURA 2. Sedimentação microbiana holocénica da Lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro, Brasil). A) Aspeto macroscópico de doma estromatolítica. B) Placard divulgativo.

Importa referir que também se originam microbialitos e estruturas com influência microbiana significativa noutros contextos, mercê de condições particulares, aqui não abordados. Como é de fácil entendimento, dadas as restrições climáticas e considerando a diversidade de contextos geográficos e fisiográficos da Terra, exemplos como os acima retratados de ambientes atuais, não são assim tão frequentes. Como tal, constituem verdadeiros templos para os geólogos sendo, por isso, um privilégio a sua observação *in situ*. Todavia, mais abundantes, e não menos fascinantes, são as estruturas microbianas do registo sedimentar antigo, que tendencialmente exemplificam as mesmas características paleoambientais dos seus análogos atuais. Um exemplo particularmente conhecido da história da Terra é o do final do Proterozoico, sinal de que estes micro-organismos sobreviveram ao fenómeno global conhecido como “Terra Bola de Neve”. A fase glaciária mais marcante de toda a tabela cronostratigráfica e que terá afetado grande parte dos ambientes previamente marinhos do planeta¹⁰. Um lugar de referência mundial deste tipo de registo sedimentar glaciário é a Namíbia, sendo também os estromatólitos (Grupo Nama) que se lhes sobrepõem¹¹. Não tendo sido ainda possível observar *in loco* estas rochas, com cerca de 550 milhões de anos, podemos regressar à vizinha Angola, para visitar as bioconstruções do Neoproterozoico da Serra da Leba e do Planalto da Humpata^{12, 13}. Estromatólitos admitidos como sendo bastante mais antigos do que os acima citados da Namíbia. De natureza dolomítica, primária, e numa sucessão sedimentar dominada por uma cor escura devido à forte silicificação (FIGURA 3). As diferentes fácies e estruturas sedimentares da Formação da Leba sugerem, uma vez mais, um ambiente marinho raso e hipersalino.



FIGURA 3. Laminações microbiais e pequenas cúpulas estromatolíticas da Formação da Leba, datada do Proterozoico (Serra da Leba, Angola).

Mas, estando em Portugal, não é necessário ir tão longe para observar magníficos exemplares destas estruturas de origem microbial. É o caso da Praia Velha em São Pedro de Moel, onde se observa, possivelmente, dos melhores registos de cúpulas estromatolíticas, domiformes, da geologia portuguesa, datadas da parte baixa do Jurássico Inferior (Sinemuriano; cerca dos 195 Ma)¹⁴ (FIGURA 4A)). No seu formato e dimensão, estas morfologias são muito semelhantes, na forma, às cúpulas microbiais do lago Thetis na Austrália Ocidental (FIGURA 4B))¹⁵, localizado a umas centenas de quilómetros a sul de Shark Bay. Mas só mesmo na semelhança morfológica externa, pois a tipologia das cúpulas é diferente, entre as laminações estromatolíticas de São Pedro de Moel e as fácies trombolíticas que caracterizam grande parte das morfologias do pequeno lago australiano. Por outro lado, o ambiente sedimentar que terá originado a sucessão carbonatada de São Pedro de Moel terá sido ligeiramente diferente da do Holocénico do lago Thetis, sendo a sedimentação do Sinemuriano português conotada com um ambiente claramente marinho, mas de baixa coluna de água¹⁴.

Não sendo assim tão frequente a observação de estruturas como as do Sinemuriano da Praia Velha ou da vizinha Praia da Concha em São Pedro de Moel, são reconhecidos no registo sedimentar português vários outros exemplos de microbialitos, de diferentes idades, bastando, para isso, procurar sucessões carbonatadas de paleoambientes de água rasa a inter-mareal¹⁶. É o caso de estruturas estromatolíticas laminares bem desenvolvidas em afloramentos do Jurássico Superior da Praia de Pedrógão¹⁶ (FIGURA 5). Ainda na linha do mesmo tipo de acumulação microbial, sobressaem outras tipologias como os oncólitos¹⁷. Partículas esferoidais compostas por lâminas carbonatadas concêntricas, de dimensão centimétrica. Típicas dos mesmos ambientes dos estromatólitos, de muito baixa coluna de água, sejam lacustres ou marinhos, até ao ambiente supramareal. Calcários oncólíticos são particularmente frequentes no Jurássico Médio e Superior da Bacia Lusitânica (Portugal)^{16, 18}, no último caso frequentemente intercalados entre sedimentos de natureza siliciclástica (FIGURA 6).

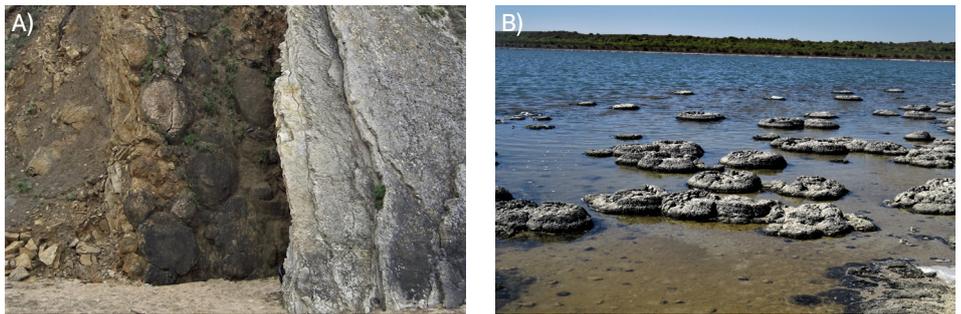


FIGURA 4. Cúpulas microbiais domiformes (ver texto). A) Sucessão carbonatada da Formação de Coimbra, datada do Sinemuriano (Jurássico Inferior), emergente em S. Pedro de Moel (Portugal). B) Exemplos atuais no lago Thetis (Austrália Ocidental).



FIGURA 5. Exemplo de estromatólitos laminares na Formação de Cabaços, do Jurássico Superior, aflorante na arriba rochosa da Praia de Pedrógão.

Os estromatólitos e os oncólitos são, sem dúvida, dos exemplos mais característicos dos efeitos da atividade microbiana na construção sedimentar carbonatada. Mas não são os únicos. Toda a construção recifal, em ambientes consideravelmente mais marinhos, mostra evidências dessa natureza, resultante da atividade de outros tipos de micróbios, complementar à dos organismos construtores. Desde os ambientes recifais coralíferos aos de esponjas siliciosas e de outras comunidades bióticas, estes, de contextos marinhos tendencialmente de maior profundidade. No caso dos poríferos, o processo da sua preservação e da conseqüente construção sedimentar resulta da relação simbiótica entre as esponjas siliciosas e um conjunto de outros micro-organismos, igualmente responsáveis pela precipitação de carbonato de cálcio. Mais tarde, é este carbonato de origem microbiana que acaba por preservar o esqueleto silicioso das esponjas.



FIGURA 6. Exemplos de oncólitos, de diferentes dimensões, inseridos em calcário oncólítico da Formação de Abiúl, data-da do Jurássico Superior aflorante em Abiúl (região de Pombal).

Para além dos registos bem conhecidos do Jurássico Superior português, na Bacia Lusitânica^{19, 20} e no Algarve²¹, de níveis bioérmicos (corpos biogénicos individualizados) diversificados com importante componente microbiano-algal, são de realce as bioconstruções de espongiários siliciosos que ocorrem no final do Jurássico Inferior (Toarciano) da mesma bacia, na Formação de S. Gião, em especial nas regiões de Condeixa, Penela e Ansião. Correspondem a pequenas construções do tipo bioerme, normalmente de escala métrica, que se associam preferencialmente a níveis calcários, incluídos em sucessões que alternam com camadas margosas (FIGURA 7A))^{22, 23}. Para além da ocorrência dos fósseis de esponjas siliciosas e de outros fósseis de organismos bentónicos, a forte cimentação destes corpos e a matriz micrítica de cor acastanhada são os sinais claros de uma precipitação carbonatada de origem microbiana (FIGURA 7B)). Características confirmadas à escala microscópica, e que configuram uma precipitação que não mostra qualquer organização estrutural (tipo leiólito). Em termos do ambiente deposicional, também pelas evidências dos restantes registos paleontológicos, estes corpos bioconstruídos terão sido formados em ambiente marinho, relativamente profundo, num contexto completamente diferente da génese dos estromatólitos.

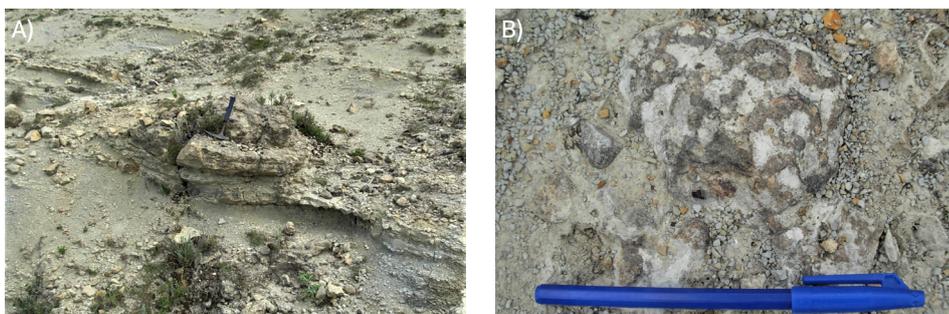


FIGURA 7. Bioconstruções de esponjas siliciosas e microbiais. A) Bioerme incluído numa sucessão margo-calcária da Formação de S. Gião (região de Ansião). B) Detalhe de esponja siliciosa preservada através de precipitação carbonatada (micrite) de origem microbiana (mais escura).

Apesar da diferenciação macroscópica entre as diversas tipologias de construção sedimentar por efeito da atividade microbiana, cada exemplo é sempre um caso particular em termos das suas características distintivas e da sua génese. A começar no enquadramento (paleo)ambiental, nas características e nas feições à escala microscópica, terminando nos complexos processos geoquímicos associados. Todo um mundo invisível no processo sedimentar.

REFERÊNCIAS

- ¹ EHRlich, H. L., *Geomicrobiology: its significance for geology*, *Earth-Science Reviews*, 45, 45–60. 1998.
- ² BURNE, R. V. & MOORE, L., *Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities*, *Palaios*, 2, 241–254. 1987.
- ³ DUPRAZ, C. et al., *Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats*, *Earth-Science Reviews*, 96, 141–162. 2009.
- ⁴ RIDING, R., *Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms*, *Sedimentology*, 47, 1, 179–214. 2000.
- ⁵ ALLWOOD, A. C. et al., *Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia*, *Nature*, 441, 7094, 714–718. 2006.
- ⁶ SUOSAARI, E. P. et al., *New multi-scale perspectives on the stromatolites of Shark Bay, Western Australia*, *Sci. Rep.*, 6, 20557. 2016.
- ⁷ DUARTE, L. V., *Deambulando pela Austrália Ocidental II. Do Paleozoico do Rio Murchison à mítica Shark Bay*, *Rev. Ciência Elem.*, V7(3):056. (2019). DOI: [10.24927/rce2019.056](https://doi.org/10.24927/rce2019.056).
- ⁸ LOKIER, S. W. et al., *A new model for the formation of microbial polygons in a coastal sabkha setting*, *The Depositional Record*, 3, 2, 201–208. 2017. DOI: [10.1002/dep2.33](https://doi.org/10.1002/dep2.33).
- ⁹ VASCONCELOS, C. et al., *Lithifying microbial mats in Lagoa Vermelha, Brazil: Modern Precambrian relics?*, *Sedimentary Geology*, 185, 175–183, 2006.
- ¹⁰ HOFFMAN, P. F. et al., *A Neoproterozoic Snowball Earth*, *Science*, 281, 5381, 1342–1346. 1998. DOI: [10.1126/science.281.5381.1342](https://doi.org/10.1126/science.281.5381.1342).
- ¹¹ GROTZINGER, J. P. et al., *Calcified metazoans in thrombolite-stromatolite reefs of the terminal Proterozoic Nama Group, Namibia*, *Paleobiology*, 26, 3, 334–359. 2000.
- ¹² CORREIA, H., *O Grupo Chela e Formação Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da "Formação da Chela" na região do Planalto da Humpata (Sudoeste de Angola)*, *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, 20, 65–130. 1976.
- ¹³ DUARTE, L. V. et al., *Do Proterozoico da Serra da Leba (Planalto da Humpata) ao Cretácico da Bacia de Benquela (Angola). A geologia de lugares com elevado valor paisagístico*, *Comunicações Geológicas*, 101, Especial III, 1255–1259. 2014.
- ¹⁴ AZERÉDO, A. C., et al., *Subtidal stromatolites from the Sinemurian of the Lusitanian Basin (Portugal)*, *Facies*, 56, 2, 211–230. 2010.
- ¹⁵ WACEY, D., *Mineralisation of filamentous cyanobacteria in Lake Thetis stromatolites, Western Australia*, *Geobiology*, 16, 203–215. 2018.
- ¹⁶ AZERÉDO, A. C. et al., *The Middle-Late Jurassic forced regression and unconformity in Central Portugal: eustatic, tectonic and climatic effects on a carbonate ramp system*, *Sedimentology*, 49, 1339–1370. 2002.
- ¹⁷ FLUGEL, E., *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. 2004.
- ¹⁸ FÜRSICH, F. T. et al., *Life at the continental–marine interface: palaeoenvironments and biota of the Alcoçaba Formation (Late Jurassic, Central Portugal), with a formal definition of the unit appended*, *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 2021.
- ¹⁹ LEINFELDER, R. et al., *Siliceous sponge facies from Upper Jurassic of Portugal*, *Neues Jahrb. Geol. Paläontologie Abh.*, 189, 199–254. 1993.
- ²⁰ RAMALHO, M. M. & AZERÉDO, A. C., *Nota preliminar sobre novos corpos bioérmicos do Jurássico Superior da região de Sintra*, VII Congresso Nacional de Geologia, Julho/2006, Pólo de Estremoz da Universidade de Évora, Livro de Resumos, 2, 665–667. 2006.
- ²¹ RAMALHO, M. M., *Sur la découverte de biohermes stromatolithiques à spongiaires siliceux dans le Kimméridgien de l'Algarve (Portugal)*, *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 74, 41–55. 1988.
- ²² REOLID M. & DUARTE, L. V., *Sponge-microbialite buildups from the Toarcian of the Coimbra region (Northern Lusitanian Basin, Portugal): paleoecological and paleoenvironmental significance*, *Facies*, 60, 561–580. 2014.
- ²³ DUARTE, L. V., *Facies analysis and sequential evolution of the Toarcian–Lower Aalenian series in the Lusitanian Basin (Portugal)*, *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 83, 65–94. 1997.