

Título: Foraminíferos: uma célula com muita história para contar

Autoras

Sibelle Trevisan Disaró
Luciana Cristina de Carvalho Santa-Rosa
Joice Dissenha Gonçalves
Helenita Catharina Dalla-Lana Forcelini
Elis Regina Ribas

Revisão Técnica

Fernando Antonio Sedor

Diagramação

Luciana Cristina de Carvalho Santa-Rosa
Sibelle Trevisan Disaró
Joice Dissenha Gonçalves
Helenita Catharina Dalla-Lana Forcelini

Fotos

CSIRO
Fabián G. Tricárico
Ghedoghedo
LaFMA (Elis Regina Ribas & Eduardo Shiichi Suzuki)
Manuae
Maria Holzmann
Ricardo Liberato
Röttger
Wilhelms

Janeiro 2024

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Foraminíferos [livro eletrônico]: uma célula com muita história para contar / Sibelle Trevisan Disaró...[et al.]. - 1. ed. - São Bernardo do Campo : SC ; Curitiba, PR : Museu de Ciências Naturais, 2024.
5.651 kb.

Acompanhado de suplemento: Lâminas do kit didático (603 kb.)
Formato: PDF
ISBN 978-65-990640-9-8

1. Foraminíferos. 2. Biologia de foraminíferos.
3. História natural dos foraminíferos. I. Disaró, Sibelle Trevisan. II. Museu de Ciências Naturais (Curitiba, PR).
III. Título.

CDD-593.12

Sueli Costa - Bibliotecária - CRB-8/5213
(SC Assessoria Editorial, SP, Brasil)

Índices para catálogo sistemático:
1. Foraminíferos 593.12

Capa: Arte de Luciana C. de C. Santa-Rosa. Composição: imagens de foraminíferos em microscopia óptica e eletrônica de varredura.

UFPR, Curitiba (PR)

APRESENTAÇÃO

Este livreto foi desenvolvido para tornar a abordagem sobre seres unicelulares no ensino básico mais motivadora e interessante.

Comumente os “Protistas” são vistos como seres patogênicos, trazendo a ideia de que esses organismos são prejudiciais aos humanos e a outros animais. Entretanto, a maior parte deles compõe a base da cadeia alimentar de vários organismos uni e multicelulares. Eles também contribuem significativamente para a reciclagem de nutrientes orgânicos e inorgânicos, auxiliando na manutenção e no equilíbrio dos ecossistemas.

Por serem majoritariamente microscópicos, nem sempre é possível visualizá-los sem equipamentos adequados, ocasionando um distanciamento entre o aluno e o objeto de estudo.

Devido à diversidade de formas e beleza de muitas de suas carapaças, os **foraminíferos** podem ser uma importante ferramenta para despertar o interesse nos seres unicelulares. Esperamos que este livreto aproxime os leitores do fascinante mundo microscópico, oferecendo informações que poderão ser utilizadas nas disciplinas de Ciências, Zoologia, Geociências, Paleontologia, entre outras.

Acreditamos que os foraminíferos tenham potencial para serem utilizados como material didático, estimulando a curiosidade de estudantes do ensino básico, superior e também da comunidade não acadêmica.

As autoras

INTRODUÇÃO

Apesar de serem unicelulares e aparentarem simplicidade estrutural, muitas espécies de foraminíferos selecionam cuidadosamente partículas minerais ou orgânicas para construir camadas externas protetoras, denominadas de carapaças. Eles também podem combinar partículas de diferentes formas, tamanhos e consistências.

Em uma carta endereçada a Carpenter em 1872, Darwin comentou sobre essa habilidade dos foraminíferos:

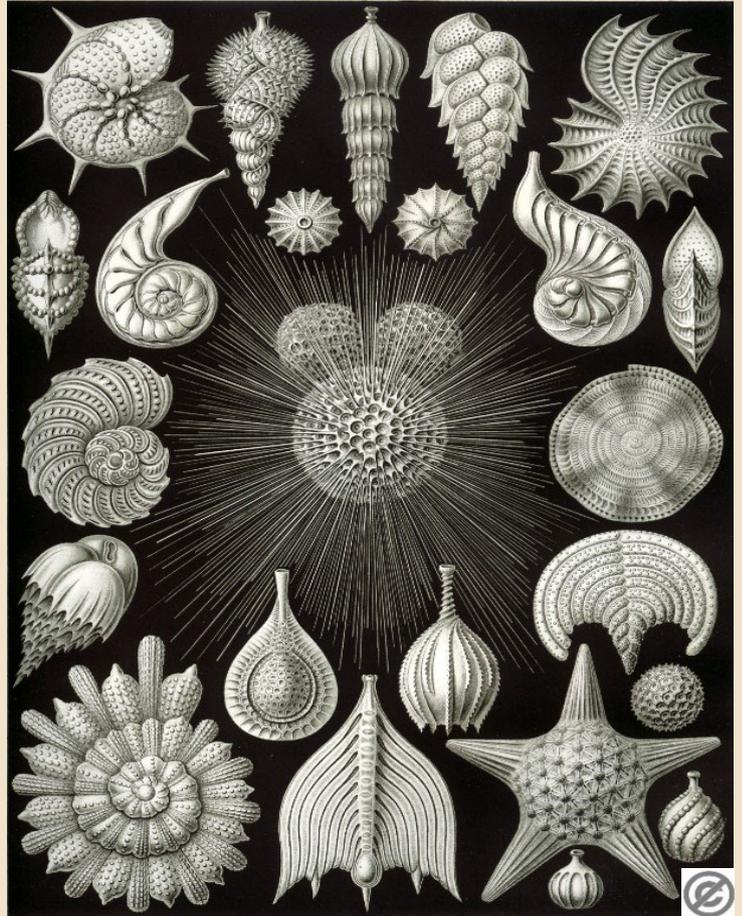
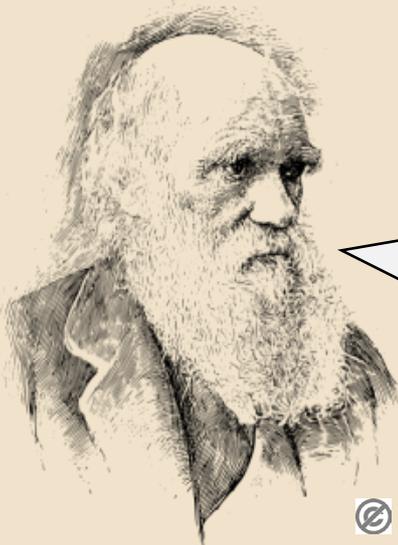


Ilustração de foraminíferos feita em 1904 pelo naturalista, filósofo e artista Ernst Haeckel (1834-1919).



Charles Robert Darwin
(1809-1882)

"O caso de três espécies de protozoários (eu esqueci os nomes) [sic] que, aparentemente, selecionam grãos de areia de tamanhos diferentes etc., é quase o fato mais maravilhoso de que já ouvi falar. Não dá para acreditar que eles tenham poder mental [sic] suficiente para fazê-lo e como qualquer estrutura ou viscosidade possa levar a esse resultado, perpassa todo meu entendimento".

Esses pequenos organismos intrigaram até o famoso naturalista. Isso nos instiga a conhecê-los e compreendê-los melhor.

1. HISTÓRICO

Você já ouviu falar de Heródoto?

Ele foi um famoso geógrafo e historiador grego, considerado o pai da História. Viajava muito e, nestas viagens em busca do desconhecido registrava tudo em seu diário, nos mínimos detalhes. Essas informações documentadas eram raras na época e com o tempo, tornaram-se preciosos registros que hoje completam lacunas da História trazendo ao nosso conhecimento fatos que poderiam ter sido perdidos.

A primeira observação documentada que conhecemos dos foraminíferos foi realizada por ele, Heródoto.



Estátua de Heródoto (484-420 a.C) em Halicarnasso, sua cidade natal, atualmente Bodrun (Turquia).



Pirâmides de Gizé, Egito. FOTO: Ricardo Liberato, [CC BY-SA 2.0, [CC BY-SA 2.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0)], via Wikimedia Commons

Num de seus diários Heródoto relata a presença de estruturas com forma e tamanho de moedas nos blocos de calcário utilizados pelos egípcios, durante a construção das pirâmides na planície de Gizé.



Rocha com foraminíferos fósseis (*Nummulites gizehensis*) exposta no Museu de História Natural da Universidade de Bonn, Alemanha. FOTO: Ghedoghedo [CC BY-SA 4.0 (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2558312>)] via Wikimedia Commons

Muito tempo depois, pesquisadores descreveram estas estruturas e lhes deram o nome de *Nummulites gizehensis* que, em latim, significa moeda petrificada de Gizé.

Pensando em quão antiga é essa história, podemos nos perguntar quando surgiram os foraminíferos?

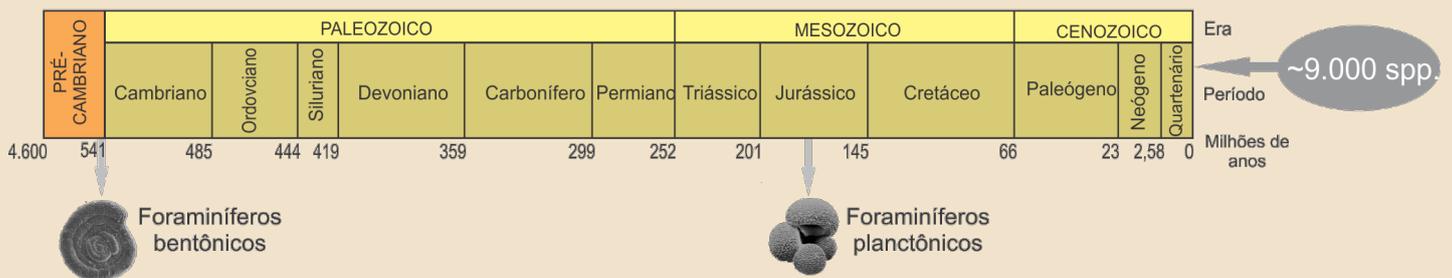
Qual o tempo estimado da sua existência?



Nummulites sp. FOTO: Wilhelms [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>) ou GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons

Evidências paleontológicas indicam que os foraminíferos surgiram no início do Período Cambriano (Era Paleozoica), **há cerca de 541 milhões de anos**, mas os estudos de filogenia molecular estimam que a história evolutiva destes organismos possa ter pelo menos **um bilhão de anos. Eles vivem até os dias atuais.**

Estima-se que existam cerca de 40.268 espécies de foraminíferos fósseis válidas e cerca de 8.912 viventes (Hayward *et al.*, 2021)¹. Dentre as espécies viventes apenas 40 a 50 são planctônicas.



¹ Hayward, B.W.; Le Coze, F.; Gross, O. (2021). **World Foraminifera Database**. Disponível em: <http://www.marinespecies.org/foraminifera> em 04-06-2021

No início acreditava-se que os foraminíferos eram microcefalópodes, ou seja, moluscos pequenos parecidos com o náutilo. Essa associação ocorreu, pois, algumas espécies de foraminíferos possuíam carapaças com formas muito similares a essas conchas. Além disso, tanto os foraminíferos quanto esses moluscos apresentam concha com conexão entre as câmaras.



A) Náutilo, molusco cefalópode. Vista do animal dentro de sua concha. FOTO: Manuae. [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons. Vista interna da concha. FOTO: CSIRO [CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)], via Wikimedia Commons

...mas e esse nome?! F-O-R-A-M-I-N-Í-F-E-R-O-S, diferente né! Como? Quem? Por que desse nome?

O importante pesquisador francês Alcide d'Orbigny percebeu que esses organismos tinham carapaças constituídas por câmaras, ligadas entre si por orifícios (**os forames ou forâmen**) e assim, em 1826 os denominou **“FORAMINÍFEROS”²**.



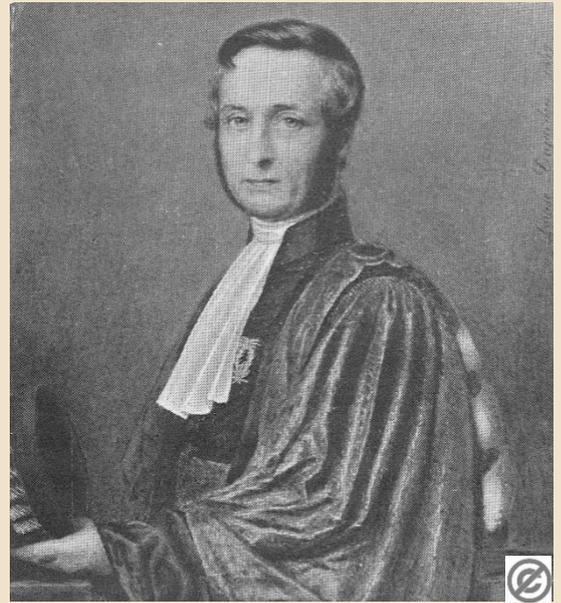
Alcide Charles Victor Marie Alcide d'Orbigny (1802-1857)

² Latim: *forâmen* = orifício; *ferre* = aquele que porta/tem.

Em 1835 Félix Dujardin descobriu que os foraminíferos eram seres unicelulares e formavam pseudópodos, portanto não eram metazoários (animais) como os náutilos, que são cefalópodes.



Fotomicrografia de espécimes juvenis de *Heterostegina depressa*.
FONTE: Röttger (1984)³.



Félix Dujardin (1801-1860) em retrato feito por sua filha Louise Dujardin, em 1847.

2. O “PROTISTA” FORAMINÍFERO

No ensino básico os foraminíferos são inseridos no grupo “Protista”. Atualmente sabe-se que esse grupo não é monofilético⁴ e, portanto, não tem significado filogenético⁵.

Estudos moleculares têm rearranjado os seres vivos, e as classificações mais recentes separaram os “Protistas” em vários grupos. De acordo com essas classificações os foraminíferos fazem parte de Rhizaria ou Chromista. Contudo, devido à falta de consenso a respeito desse tema e pela abordagem feita em sala de aula, utilizamos aqui o termo “Protista” grafado entre aspas.

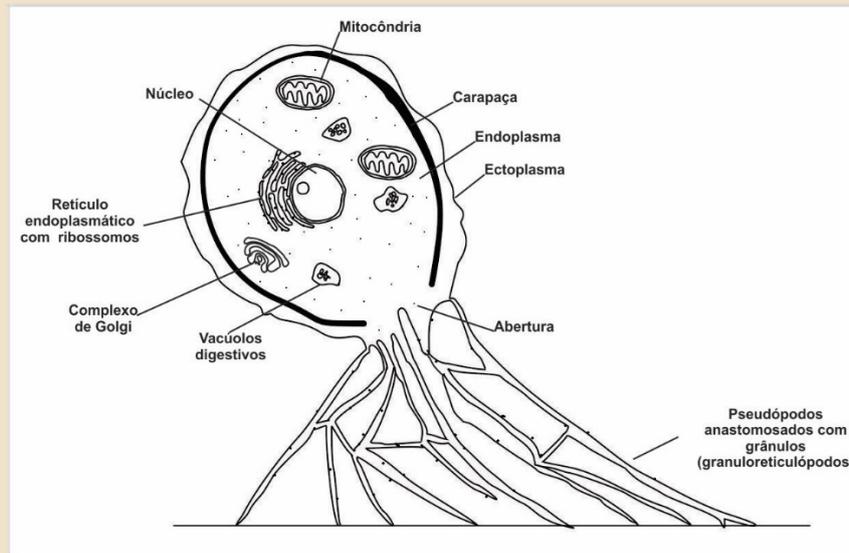
A célula (“corpo” do organismo) é protegida pela carapaça, mas parte desta célula é geralmente vista no exterior, envolvendo-a. Os pseudópodos têm acesso ao exterior pela abertura da carapaça.

³ RÖTTGER, R., und INST. WISS. FILM: *Die Großforaminifere Heterostegina depressa* – Vielteilung der mikrosphärischen und der megalosphärischen Generation. Film C1506 des IWF, Göttingen 1983. Publikation von R RÖTTGER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 16, Nr. 28/C 1506 (1984), 20S. [CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)]

⁴ Um grupo monofilético é aquele que inclui uma linhagem ancestral e todos os descendentes desses antepassados.

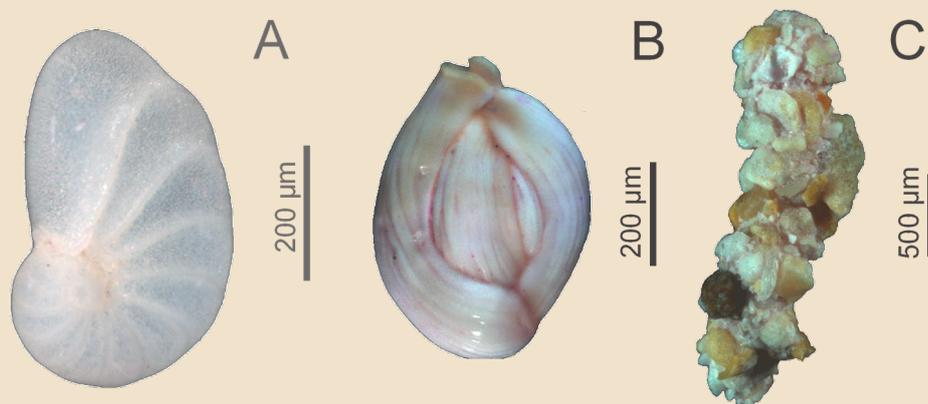
⁵ Filogenia é a história evolutiva das espécies.

Os foraminíferos são eucariontes, ou seja, sua célula é como as nossas, tem núcleo separado do citoplasma pela carioteca e tem diversas organelas como as mitocôndrias e os vacúolos.



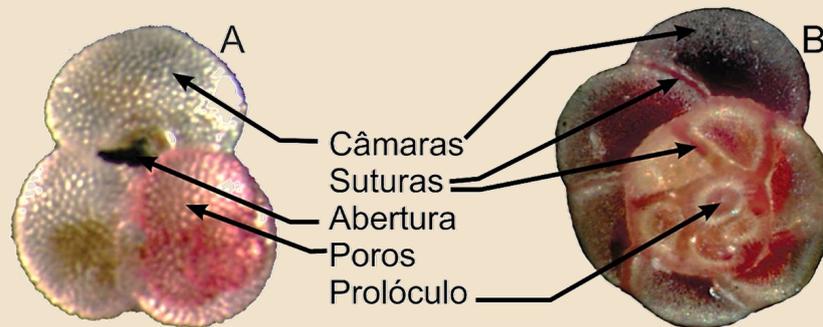
Esquema da célula de um foraminífero

A carapaça também é chamada de concha, testa ou teca. Pode ter constituição orgânica ou mineral (calcária-hialina e calcária-porcelânica) ou, pode ser construída de diversas partículas presentes no ambiente que são aglutinadas (unidas) com cimento produzido pelo próprio organismo.



Constituição da carapaça dos foraminíferos. A) calcário-hialino, *Nonionoides grateloupii*; B) calcário-porcelânico, *Quinqueloculina bicornis*; C) aglutinante, *Bigenerina textularioidea*. FOTOS: LaFMA

Algumas estruturas da carapaça dos foraminíferos



A) foraminífero planctônico; B) foraminífero bentônico. FOTOS: LaFMA

A câmara inicial de um foraminífero é denominada **prolóculo**; a carapaça pode ser composta de uma ou mais câmaras, podendo ou não apresentar poros.

Tamanho

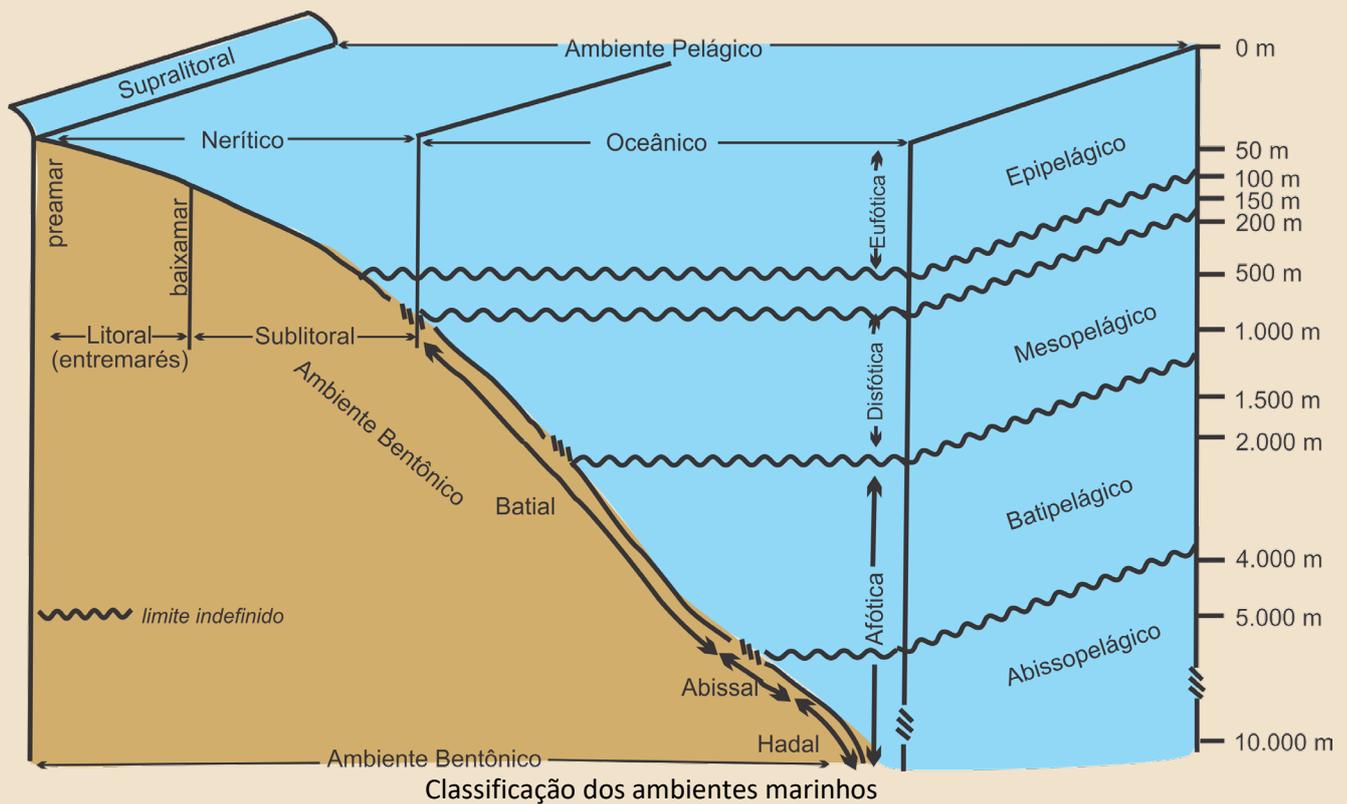
Variam de cerca de 0,02 mm a 20 cm. Uma das maiores espécies viventes cuja carapaça calcária pode ter cerca de 10 cm de diâmetro é *Cycloclypeus carpenteri* (Nummulitidae). Embora existam espécies grandes de foraminíferos, a maioria tem de 0,125 a 0,250 mm.



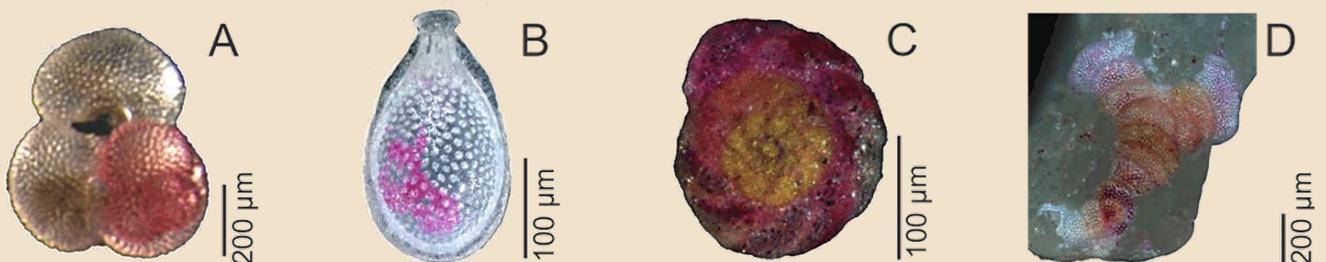
Cycloclypeus carpenteri Brady, 1881 - Assim como a maioria dos grandes foraminíferos, esta espécie vive em simbiose com algas. FOTO: Maria Holzmann

Onde vivem os foraminíferos?

Foraminíferos são predominantemente marinhos, mas algumas espécies suportam águas de baixíssima salinidade e também água doce. Habitam dos trópicos às regiões polares e podem viver em ambientes transicionais como estuários, lagunas, marismas e manguezais, assim como em praias ou em áreas profundas do oceano, a mais de 10.000 metros de profundidade (região hadal).



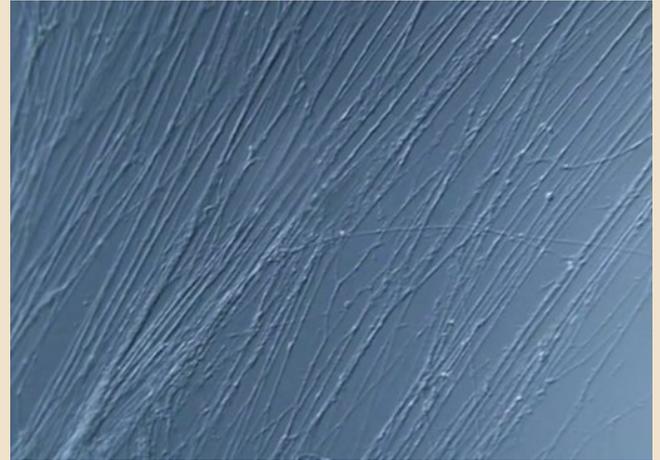
Foraminíferos podem viver na coluna d'água (planctônicos) ou associados ao fundo (bentônicos) livres ou aderidos em rochas, algas ou a outros organismos.



A) Foraminífero planctônico, *Globigerinoides ruber*. (B – D) Foraminíferos bentônicos. B) *Lagenosolenia perforata*; C) *Asterotrochammina camposi*; D) *Rectocibicides miocenicus* incrustado num fragmento de feldspato. FOTOS: LaFMA

Pseudópodos: estruturas com diversas funções

Locomoção, captura de alimento e construção da carapaça são algumas das funções realizadas com auxílio dos pseudópodos⁶. No caso dos foraminíferos, também podem ser chamados de **reticulópodos** ou **granuloreticulópodos**. Essas estruturas têm como características serem filamentosas, robustas e possuem a capacidade de anastomosar-se, ou seja, ramificar-se e formar redes.



Heterostegina (à esquerda) com seus reticulópodos distendidos para locomoção; este gênero realiza simbiose com algas. Acima, detalhe dos reticulópodos anastomosando-se. FONTE: Röttger (1982)⁷

Locomoção em “Protista”

Organismos unicelulares podem se locomover com auxílio de cílios, flagelos ou pseudópodos. Alguns são parasitas e não se locomovem ativamente. A organização citoplasmática dos foraminíferos e o movimento pseudopodial são característicos de organismos ameboidais.

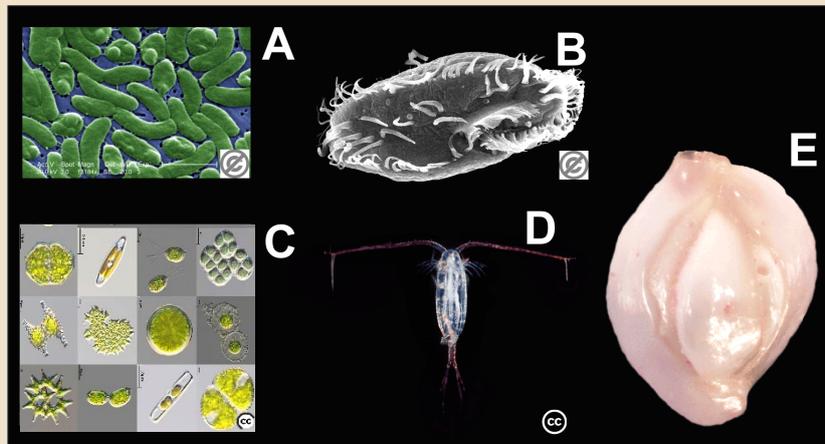
**Foraminíferos
na sala de
aula**

⁶ Também chamados pseudópodes. Latim: *pseudo* = falso; *podo* = pés.

⁷ RÖTTGER, R., und INST. WISS. FILM: **Die Großforaminifere *Heterostegina depressa*** – Organisation und Wachstum der megalosphärischen Generation. Film C1451 des IWF, Göttingen 1982. Publikation von R RÖTTGER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 21/C 1451 (1982), 15 S. [CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)]

🍴 Do que se alimentam os foraminíferos?

Foraminíferos são predominantemente onívoros. Alimentam-se de bactérias, metazoários, algas, detritos e de outros organismos unicelulares, incluindo outros foraminíferos.



Alguns dos itens alimentares dos foraminíferos: A) bactérias; B) ciliados; C) algas; D) copépodes (FOTO: Uwe Kils [CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)], via Wikimedia Commons); E) foraminíferos (FOTO: LaFMA).

Para obter o alimento atuam como suspensívoros, detritívoros, necrófagos e “pastadores” de filmes algais ou bacterianos. Também podem ser eficientes predadores. Em ambientes com pouca disponibilidade de nutrientes é comum que realizem **mixotrofia**⁸, mantendo algas unicelulares em simbiose, assim como fazem alguns corais.

Endocitose e Exocitose

Fagocitose - tipo de endocitose na qual pseudópodos envolvem o alimento e o transportam para o interior da célula em vacúolos digestivos, onde ocorre a digestão e a absorção.

Pinocitose – endocitose onde a célula captura líquidos ou macromoléculas dissolvidas em água através de invaginações da membrana, formando pequenas vesículas.

Clasmatose ou clasmocitose - tipo de exocitose responsável pela eliminação de resíduos oriundos da fagocitose ou pinocitose.

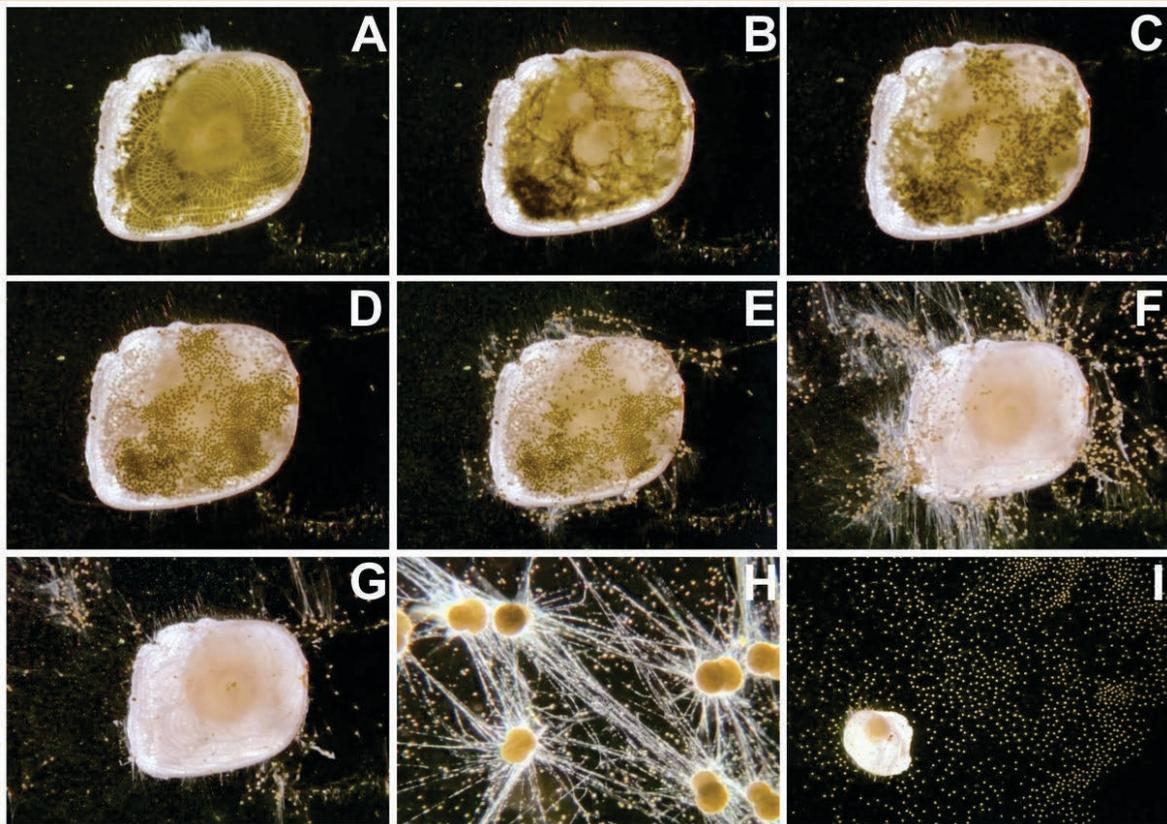
Foraminíferos alimentam-se por fagocitose e pinocitose e excretam por clasmocitose.

Foraminíferos na sala de aula

⁸ **Mixotrofia** – estratégia de nutrição de organismos que utilizam mecanismos autotróficos e heterotróficos, podendo produzir seu próprio alimento fixando o dióxido de carbono, através de fotossíntese ou quimiossíntese, e podem também se alimentar de outros compostos inorgânicos ou orgânicos. Alguns “protozoários heterotróficos” tem esta capacidade fotossintética porque mantêm algas endossimbiontes ou porque realizam sequestro de plastídios.

Como foraminíferos se reproduzem?

Os foraminíferos apresentam diversas estratégias reprodutivas, porém a alternância de gerações sexuada e assexuada prevalece no grupo. Foraminíferos podem apresentar diferenças morfológicas entre indivíduos gerados por reprodução assexuada (fissão múltipla, binária - citotomia) e sexuada. Aqueles oriundos de reprodução assexuada apresentam prolóculo maior (megalosféricos), quando comparados a indivíduos da mesma espécie, oriundos de reprodução sexuada (microsféricos - prolóculo menor).



Reprodução por fissão múltipla em *Heterostegina depressa*. (A-D) Protoplasma contendo simbiontes é retraído para porção interna da carapaça, iniciando a fissão múltipla; (E-G) o protoplasma se divide em pequenas células-filhas e começa a sair pelo sistema de canais que conecta as câmaras ao exterior; nesta etapa as células-filhas já têm duas câmaras. H) Detalhe de células-filhas com duas câmaras. I) No canto inferior esquerdo observa-se a carapaça que abrigava a célula-mãe vazia, e os juvenis ao seu redor. FONTE: Röttger (1984) [CC BY 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)]

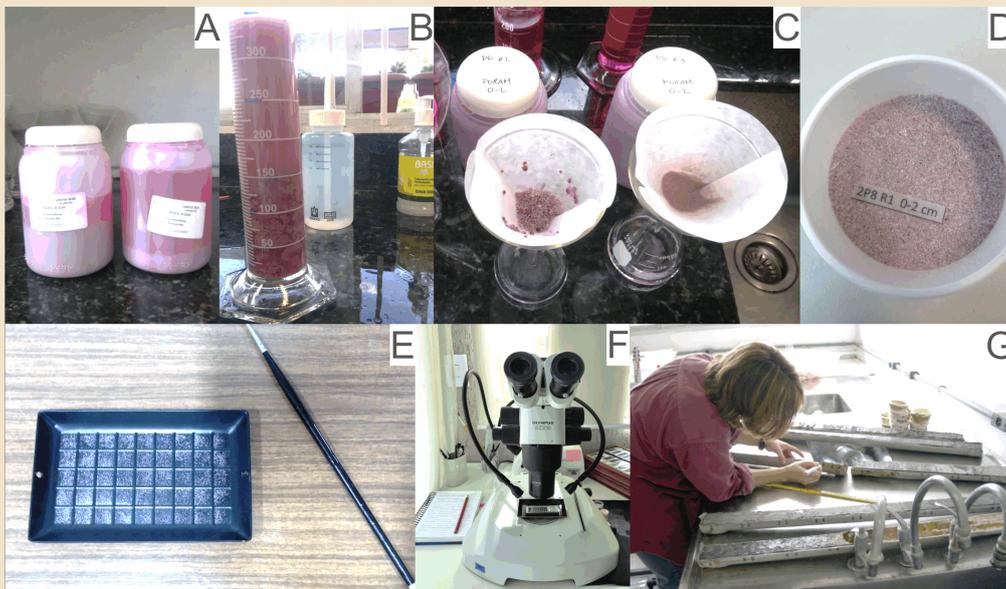
Quanto tempo vive um foraminífero?

Vive alguns dias, até poucos anos (1 a 3); a maioria vive cerca de 2 a 3 meses.

Aplicações do estudo de foraminíferos

Foraminifera é um dos grupos de maior diversidade nos oceanos atuais. A abundância, somada à extensa história geológica possibilita que sejam estudados ao longo do “tempo geológico”, trazendo informações sobre oceanos primitivos e seus ambientes.

A carapaça resistente da maior parte dos foraminíferos aumenta a chance de preservação e de acúmulo no fundo oceânico, formando grande parcela dos sedimentos marinhos. Há espécies que viveram exclusivamente em determinado intervalo de tempo e ocuparam ambientes específicos; sendo assim, quando preservados como fósseis nas rochas sedimentares, permitem que os utilizemos na **datação** destas rochas e reconheçamos particularidades dos ambientes em que viveram. Atualmente têm ampla aplicação em **estudos paleoclimáticos, paleoecológicos e paleoambientais**, colaborando na **reconstituição ambiental** e **prospecção de petróleo e gás**. Também possibilitam estimar a **velocidade de sedimentação** e **mudanças do nível do mar**. Outra aplicação é seu uso como **biodindicadores da qualidade ambiental**. Algumas espécies são sensíveis às alterações físicas e químicas do ambiente e, desta forma, têm sua composição ou distribuição alterada em regiões impactadas por poluição.



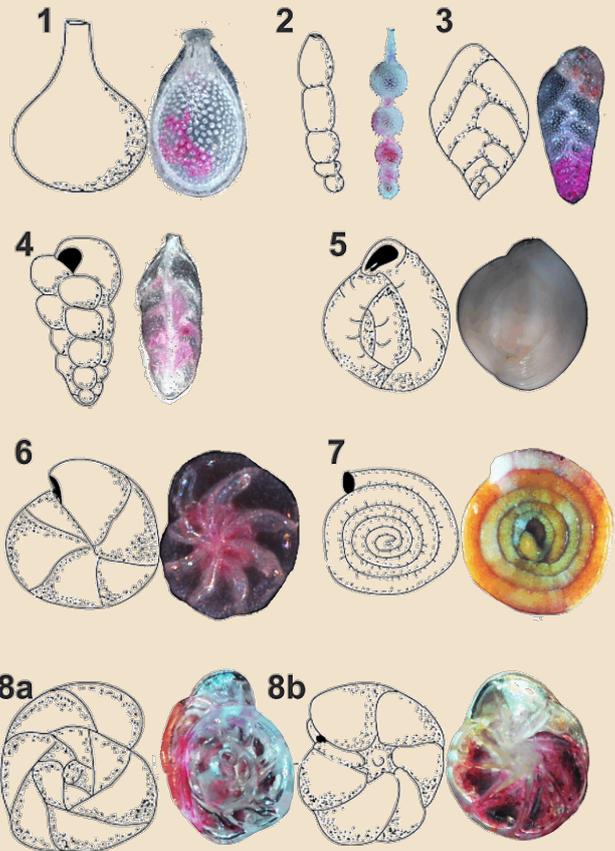
(A-F) Processamento das amostras para análise de foraminíferos recentes. A cor rosa ocorre devido à adição de corante. A) amostras para análise; B) medição de volume em proveta graduada; C) drenagem da água dos sedimentos após lavagem em peneiras; D) amostra seca, pronta para triagem; E) triagem sob lupa; F) identificação dos foraminíferos triados. G) Amostragem em testemunhos para análise de foraminíferos fósseis. FOTOS: LaFMA

3. Identificação dos foraminíferos

Comumente a identificação dos foraminíferos é realizada com base em características morfológicas da carapaça.

I. Número de câmaras

- 1) Uma ► Unilocular
- 2-8) Duas ou mais ► multilocular



Arranjos típicos dos foraminíferos. Imagem composta por desenhos de Loeblich & Tappan, 1964 ⁹ e fotos do LaFMA.

II. Arranjo das câmaras

- 1) unilocular
- 2) uniserial
- 3) biserial
- 4) triserial
- 5) miliolinar
- 6) planispiral involuto
- 7) planispiral evolutivo
- 8a) trocospiral evolutivo e 8b) involuto

III. Tipo de Parede

Orgânica, aglutinante, calcário-hialina e calcário-porcelânica.

IV. Abertura

- Posição: terminal; interiomarginal; umbilical; dorsal; areal.
- Tipo: radiada; em fenda; com tubo entosoleniano; em forma de arco.
- Presença ou ausência de “lábio” e/ou “dente”.

V. Outras características úteis

Presença de carena, “costelas”, suturas, aberturas secundárias etc.

⁹ LOEBLICH, A. R.; TAPPAN, H. *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part C: Protista 2, Sarcodina, chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida*. Lawrence: Geological Society of America and University of Kansas Press, 1964.

...e a história começou assim...

Heródoto, antigo geógrafo e historiador grego, em uma de suas viagens conheceu, no Egito, as pirâmides da planície de Gizé.



Observou nas rochas dessas pirâmides estruturas que pareciam moedas de pedras e anotou em seus manuscritos de viagem.



Leonardo da Vinci, percebeu diferenças entre rochas sedimentares e outras da paisagem italiana, reconheceu os fósseis e foi o primeiro a afirmar sua origem



d'Orbigny percebeu que alguns microfósseis e pequenas carapaças não fossilizadas eram similares e constituídas por câmaras ligadas entre si, por orifícios, 'forâmens'.



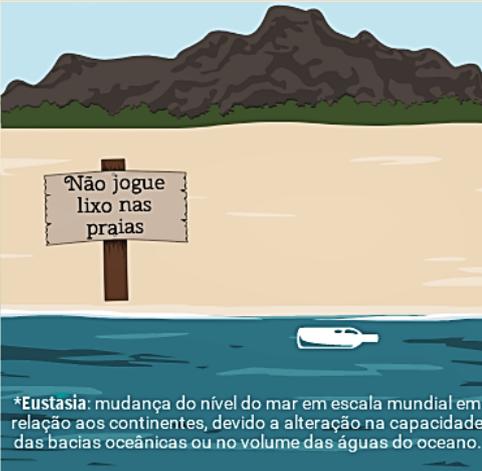
Dujardin descobriu que foraminíferos eram seres unicelulares e não metazoários (várias células), como os cefalópodes (polvos, lulas, sépias).



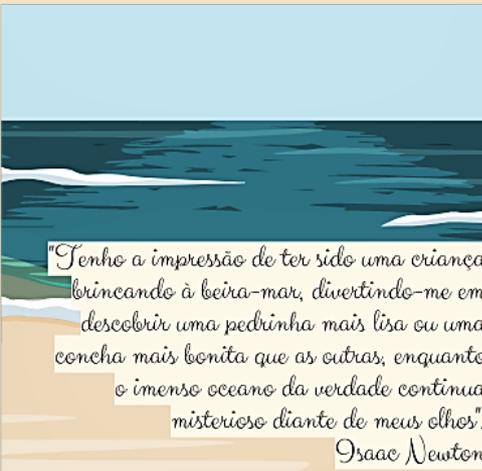
Mais tarde pesquisadores descobriram que as estruturas nas pirâmides do Egito, eram foraminíferos fossilizados, e em homenagem à citação de Heródoto, nominaram o gênero.



Hoje sabemos que é possível encontrar foraminíferos fósseis nas montanhas, como DaVinci encontrou, pois de tempos em tempos o nível do mar pode elevar-se por eustasia* ou atividade tectônica.



A maioria dos seres unicelulares não são vistos a olho nu, mas estão por aí, fazendo parte do todo. Que tal conhecê-los melhor? Ou quem sabe apenas ser um admirador de sua beleza?



Foraminíferos são formados por apenas uma célula, mas **uma célula com muita história pra contar.**



SITES INTERESSANTES PARA COMPLEMENTAR SEUS CONHECIMENTOS SOBRE OS FORAMINÍFEROS:

- Techniques for preparing samples for study of foraminifera in the classroom:
<http://www.ucmp.berkeley.edu/fosrec/Snyder&Huber.html>
- The Foraminifera.eu Project:
<http://www.foraminifera.eu/>
- E-forams:
<http://www.eforams.org>
- Illustrated glossary of terms used in foraminiferal research:
http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2006_M02/index.html
- WoRMS:
<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1410>



Quer saber mais sobre os foraminíferos?

Laboratório de Foraminíferos e Micropaleontologia Ambiental
(LaFMA-UFPR)

Endereço: Universidade Federal do Paraná
Campus Centro Politécnico / Setor de Ciências Biológicas
Museu de Ciências Naturais
Rua Coronel Francisco Heráclito dos Santos, s/n
Jardim das Américas
CEP 81.530-000 Curitiba-PR

Contato:
(41) 3361-1645
E-mail: biomuseu@ufpr.br
Home Page: www.forams.ufpr.br

Este livreto pode acompanhar um kit didático associado, elaborado na UFPR, que foi desenvolvido com o material excedente de amostras coletadas em projetos de pesquisa e monitoramento ambiental, em parceria com a Petrobras.

Realização:



Apoio:

