

# Introdução ao estudo das criptógamas

#### Prof<sup>a</sup> Daniela Rezende Peçanha Fernandes

#### Descrição

Contextualização das criptógamas na história da classificação dos seres vivos e reconhecimento das relações evolutivas entre cianobactérias (procariotos) e os eucariotos fotossintéticos.

#### Propósito

Conhecer a classificação, a evolução, a biologia, a ecologia e a importância econômica das criptógamas que habitam o nosso planeta é essencial para se tornar um profissional apto a ensinar, desenvolver produtos, realizar consultorias em projetos ambientais, entre outras atividades vinculadas a esse grupo.

# Objetivos

Módulo 1

## Criptógamas no sistema de classificação atual

Reconhecer as criptógamas no sistema de classificação atual.

Módulo 2

# Relacionando cianobactérias à evolução dos eucariotos fotossintetizantes

Relacionar as cianobactérias à evolução dos eucariotos fotossintetizantes.



# Introdução

O ser humano tem uma necessidade natural de classificar tudo que está à sua volta, e isso inclui os seres vivos. Com base nessa ideia, você irá focar a sua atenção em um grupo de organismos bem diverso, tradicionalmente conhecido como criptógamas. Veremos o porquê deste nome, quem são esses organismos, e em quais reinos e domínios eles e outros seres vivos estão agrupados atualmente.

As criptógamas têm suas espécies distribuídas nos mais diversos ambientes que nos cercam e, por isso, é preciso conhecer as características mais marcantes desses seres para que possamos reconhecê-los na natureza. Nas tradicionais criptógamas, grande parte de seus organismos são

fotossintetizantes. Mas como esses organismos surgiram no planeta? Existiria alguma relação entre as cianobactérias e os eucariotos fotossintetizantes?

Compreender esses aspectos nos auxilia a recontar parte da história evolutiva dos seres vivos no planeta. A existência do processo da fotossíntese tornou a Terra um planeta único no nosso sistema solar. Os organismos que o executam são a base de toda a cadeia alimentar, e os fungos são os principais decompositores de matéria orgânica.

Portanto, nota-se que esses organismos têm importante função no equilíbrio do meio ambiente. Além disso, nós, humanos, ainda nos alimentamos consumindo organismos fotossintetizantes, alguns fungos e outros organismos que se nutriram de seres fotossintetizantes. Também desenvolvemos diversos produtos a partir das criptógamas para suprir nossas demandas.



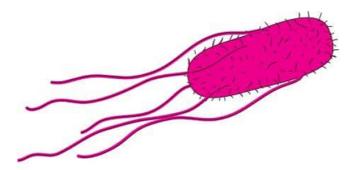
# 1 - Criptógamas no sistema de classificação atual

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer as criptógamas no sistema de classificação atual.

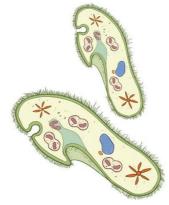
# Caracterização dos reinos Monera, Protista, Plantae e Fungi

Ao longo da história, a construção dos sistemas de classificação dos organismos sempre foi pautada em contextos coerentes com cada época. O pensamento vigente e as tecnologias disponíveis tiveram uma relação direta com a classificação dos seres vivos.

É relevante conhecer o passado para compreender os argumentos e os avanços que nos fizeram chegar ao sistema que utilizaremos neste estudo. Iremos caracterizar, sob uma perspectiva mais atual, os organismos chamados anteriormente de criptógamos, que atualmente estão distribuídos entre os reinos:



## Monera



## **Protista**



### **Plantae**



## Fungi

# A natureza humana de criar categorias

Nós humanos temos uma necessidade intrínseca de categorizar objetos, acontecimentos, culturas, organismos que habitam o planeta, entre outros elementos que constituem a nossa vida em sociedade e seres pertencentes à natureza.

A categorização é uma atividade cognitiva própria da nossa espécie que nos auxilia a organizar e a representar o nosso conhecimento sobre a realidade.

Assim, quando pensamos em categorizar os seres vivos, utilizamos da identificação de diversas características inerentes a eles para elaborarmos os sistemas de classificação.

No decorrer da história da humanidade, esses sistemas de classificação foram organizados priorizando nos seres vivos a semelhança ou a proximidade de critérios/categorias como: porte dos organismos, possibilidades de o homem utilizar esses organismos, semelhança morfológica,

modo de obtenção de alimento, e, mais recentemente, grau de parentesco evolutivo. Duas áreas se destacam no estudo da classificação dos seres vivos: a Sistemática e a Taxonomia.

Sistemática

É a área do conhecimento que pesquisa sobre a diversidade biológica associada à sua história evolutiva.

Taxonomia

É necessária aos estudos de sistemática, tem como objetivo identificar, atribuir nomes e classificar as espécies.

As categorias, nas quais distribuímos os seres vivos atualmente, possuem diferentes níveis hierárquicos, sendo (da mais abrangente para a menos abrangente):

Domínio

Filo

Reino

Classe		
Ordem		
Família		
Gênero		
Espécie		

Em alguns casos, ainda podemos encontrar categorias dentro de espécie, como subespécies ou variedades. Quando nos referimos a uma dessas categorias de uma forma geral, chamamos de táxon (*taxon* em grego significa ordenar), sendo *taxa* o seu plural em latim e táxons o plural de modo aportuguesado.

De todos os níveis hierárquicos vigentes, apenas quatro deles possuem terminações em seus nomes que são típicas.

A categoria filo ou divisão possui em sua maioria a terminação **phyta**, enquanto em fungos é **mycota**.

Em classe, temos uma maior variação: a terminação **phyceae** para algas; **ae** e **opsida** para plantas e **mycetes** para os fungos.

Em ordem e família não há variações, todas terminam com **ales** e **aceae** respectivamente.

# Sistemas de classificação da biodiversidade

A Grécia Antiga é o ponto de partida na elaboração da classificação dos organismos. Inicialmente, era percebida a existência apenas de animais e vegetais. **O critério para a classificação era baseado em movimento. Aristóteles** (384–322 a.C.) foi o primeiro a organizar um sistema de classificação para aqueles que se moviam, os animais, e para os que eram estáticos, os vegetais. Seu discípulo **Teofrasto** (370–285 a.C.) aprimorou a classificação dos vegetais. Esse critério utilizado, relacionado ao movimento, continuou válido por 2 mil anos. **Algumas das espécies e estruturas dos organismos nominadas por eles persistem até hoje**.

No século XVIII, já na Era Cristã, um sueco chamado Carl von Linné (1707–1778), também conhecido como Carl Linnaeus ou ainda Carolus Linnaeus, fez modificações de grande impacto na classificação e nominação dos seres vivos. Ele dividiu a natureza em três reinos, mantendo com os organismos vivos a mesma lógica dos gregos pioneiros:

Regnum Animale (Reino Animal)

Reino em que os seres possuíam movimento.

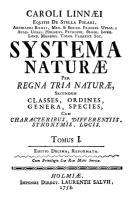
Regnum Vegetabile (Reino Vegetal)

Reino composto de seres sem movimento.

Regnum Lapideum (Reino Mineral)

Reino inanimado que, dentre outros elementos, continha rochas e fósseis.

Cada um desses reinos continham classes, ordens, gêneros e espécies (LINNAEUS, 1758). Nesse sistema, não existia menção aos táxons filo/divisão e família.



Capa de Systema naturæ (1758), a obra em que Lineu delineou a classificação das espécies.

Para a construção da classificação no **Reino Vegetal**, Linnaeus se baseou na contagem dos elementos que constituem as estruturas reprodutivas dos organismos que eram considerados vegetais naquela época. Por isso, esse sistema é conhecido como **sistema sexual com caracteres numéricos**.

A Classe Cryptogamia inspira o termo criptógamas e remete às plantas sem sementes e sem flores, nas quais os órgãos de reprodução são escondidos (em latim: *kryptos*, escondido; e *gamia*, união).

Isso quer dizer que esses órgãos de reprodução não são facilmente visualizados a olho nu.

Muitos estão discretamente aderidos superficialmente ou podem estar protegidos em compartimentos abaixo da superfície dos espécimes. Essa classe continha algumas ordens — que são tradicionalmente estudadas até hoje em disciplinas de botânica e também compartilham do mesmo código de nomenclatura:



### **Filices**

Samambaias e grupos relacionados, musgos do tipo hepática com filídios.



#### Musci

Musgos.



## Algae

Algas, inclusive cianobactérias, líquens e musgos do tipo hepática talosa.



## Fungi

Fungos.

#### Linnaeus também popularizou uma nova forma de dar nomes científicos aos organismos.

Originalmente, esses nomes eram na verdade pequenas descrições da morfologia (forma externa) dos seres vivos, e, portanto, dizia-se que eram polinômios. Depois, ele passou a utilizar, de modo

permanente, nomes científicos binomiais compostos pelo gênero e o epíteto específico.

Chamamos esse binômio de espécie.

Pelas normas atuais de nomenclatura botânica, os nomes das espécies devem ser escritos em itálico ou sublinhados, com o nome do gênero com inicial maiúscula.

Os sistemas de classificação foram sendo aprimorados ao longo do tempo, apoiados no aumento de conhecimento sobre as espécies e também nos recursos tecnológicos que foram surgindo. Após a invenção do microscópio pelo holandês Leeuwenhoek por volta do ano 1674, um novo mundo surgiu. Uma enorme diversidade de microrganismos foi sendo continuamente descoberta desde então.

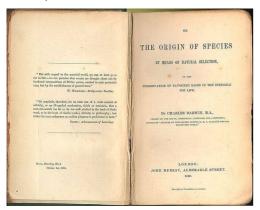
Com os constantes aprimoramentos desse instrumento, não seria mais possível classificar todos esses novos organismos apenas como animais ou vegetais. Por isso, o alemão Ernest Haeckel (1834–1919) propôs um novo reino, o **Protista** ("os primeiros"), em 1866. Nesse reino, foram incluídos organismos unicelulares e coloniais que, portanto, não se adequavam aos outros reinos que já existiam.

Haeckel conseguiu observar que, em meio a esses organismos, existia um grupo peculiar. Seus integrantes também eram unicelulares e coloniais, porém menores que os outros protistas. Ao analisar essas células mais de perto, ele notou que o núcleo não possuia a carioteca, membrana que o individualiza. Esses seres constituem o grupo **Monera**, que, na época, foi mantido no Reino Protista.



Ilustrações científicas de diversas espécies de diatomáceas feitas por Haeckel.

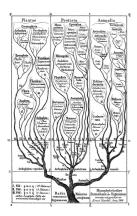
As algas unicelulares e coloniais passaram a fazer parte do Reino Protista e as cianobactérias foram incluídas no Reino Monera. Enquanto o Reino Plantae, além dos vegetais terrestres, possuía algas multicelulares e fungos.



A origem das espécies, Charles Darwin, 1859.

Esse pesquisador, influenciado pelas ideias da publicação *Origem das Espécies* de Darwin em 1859, ainda cogitou que os organismos maiores (outros protistas, plantas e animais) teriam evoluído a partir de ancestrais protistas e estes, a partir de moneras. Com esse pensamento, podemos dizer que o sistema de classificação proposto por Haeckel tentava refletir relações naturais, portanto, evolutivas, baseadas na semelhança. Isso indicava o parentesco entre os organismos, definindo quais eram os primeiros ancestrais e quais derivavam destes.

Dessa forma, esse foi um dos primeiros sistemas de classificação fundamentado na filogenia (do grego *phylon*, tribo, e *gen*, origem), portanto, na história evolutiva dos seres vivos. Esse termo foi propagado pelo próprio Haeckel, que elaborou um esquema que representaria essa relação. Ele representou uma árvore filogenética demonstrando essas relações evolutivas. Na imagem a seguir, é possível observar que os organismos ancestrais estão mais próximos da base e os mais derivados nos ápices dos ramos.



Árvore filogenética construída por Haeckel (1866).

Já em 1925, o francês Édouard Chatton sugeriu separar todos os organismos entre dois grandes domínios:

#### Prokaryota

Procarionte, organimos sem núcleo delimitado.



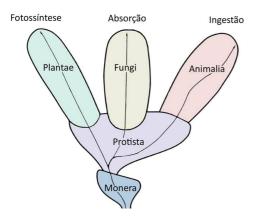
#### Eukaryota

Eucarionte, organismos com núcleo individualizado.

Nesse tempo, ocorreram grandes avanços na microscopia, principalmente com o surgimento dos microscópios eletrônicos, que são aproximadamente 500 vezes mais potentes que os ópticos.

Treze anos mais tarde, o norte-americano Herbert F. Copeland propôs um sistema de quatro reinos, acrescentando o Reino Monera que contém bactérias e cianobactérias, também conhecidas como "algas verde-azuladas". Portanto, Monera pertence ao Domínio Prokaryota, enquanto Protista, Plantae e Animalia constituem o Domínio Eukaryota. Nesse sistema, as algas e fungos estavam inseridos em Protista.

Em 1969, o norte-americano Robert Whittaker propôs um quinto reino para incluir os fungos (Reino Fungi) (WHITTAKER, 1969). As principais características consideradas na elaboração desse novo sistema de classificação foram o tipo de células (procarionte ou eucarionte), grau de complexidade do plano do corpo (unicelular, coloniais, multicelular), além da forma de obtenção de nutrientes e energia (autotrófico fotossintetizante, autotrófico quimiossintetizante, heterotrófico por absorção, heterotrófico por ingestão). Iremos adotar esse sistema de cinco reinos por ser o mais amplamente consolidado.



Árvore filogenética do sistema de classificação de cinco reinos.

# Caracterizações dos cinco reinos de Whittaker

## Reino Monera

O Reino **Monera** possui células sem carioteca delimitando seus núcleos, assim como outras organelas e, por isso, são procariontes.

Seus ancestrais são considerados a base de toda a diversidade biológica existente na Terra, conforme observado na imagem anterior.

Esse reino é representado pelas bactérias e cianobactérias unicelulares, filamentosas ou coloniais.

Quanto ao modo de nutrição, são **autotróficos fotossintetizantes (cianobactérias)** e as demais bactérias podem ser **autotróficas quimiossintetizantes** ou **heterotróficas**.

Autotróficos fotossintetizantes

Aqueles que utilizam o processo da fotossíntese para converter energia luminosa em energia química por meio da fixação de carbono vindo do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Essa energia química fica armazenada nas moléculas de açúcar produzidas nesse processo.

Autotróficos quimiossintetizantes

Aqueles que utilizam a energia liberada por reações químicas para a produção de seus açúcares. Geralmente, dióxido de carbono ou metano está presente em uma reação química

que envolve a oxidação de compostos inorgânicos, como gás hidrogênio, sulfeto de hidrogênio ou íons de ferro, que atuam como fonte de energia.

Heterotróficos

Não têm a capacidade de produzir seu próprio alimento e, por isso, buscam consumir outros organismos mediante absorção (por exemplo, fagocitose).

Nesse reino, iremos destacar as cianobactérias, que foram os primeiros organismos no planeta, há 3,5 bilhões de anos, a executarem de modo mais completo o processo fotossintético.

As cianobactérias podem ser unicelulares, filamentosas ou ainda coloniais.

Apresentam seus pigmentos — clorofila *a* e ficobilinas — ligados a uma estrutura chamada membrana tilacoide. Já foram descritas cerca de 7,5 mil espécies, e muitas delas têm a capacidade de fixar o nitrogênio da atmosfera e/ou produzir toxinas que provocam prejuízo à saúde dos humanos.

#### Curiosidade

Uma situação peculiar acontece com as cianobactérias: elas podem ser nominadas seguindo tanto o código de nomenclatura botânica quanto o código de nomenclatura bacteriológica.

Os organismos eucariotos são aqueles que possuem a carioteca ao redor dos núcleos de suas células, individualizando-os. Além disso, possuem outras organelas delimitadas por membranas, como mitocôndrias, cloroplastos e complexo de Golgi. **Eles estão distribuídos em quatro reinos**.

## Reino Protista

O Reino **Protista** contém os seres vivos que não se adequam a nenhum dos outros quatro reinos, por isso, existe uma grande diversidade biológica inserida nele.

## Podem ser unicelulares, coloniais ou até multicelulares.

Quanto ao modo de nutrição, encontramos espécies **autotróficas fotossintetizantes** e outras que são **heterotróficas** por absorção ou por ingestão.

Eles apresentam diferentes estratégias de reprodução sexuada e assexuada. A presença de células reprodutivas flageladas ocorre em alguma fase do ciclo de vida. Considera-se que os fungos, plantas e animais derivaram de espécies ancestrais dos protistas. Neste conteúdo, iremos priorizar os grupos que têm espécies fotossintetizantes, portanto, iremos conhecer as **algas unicelulares** e **multicelulares**.

## Reino Plantae

O Reino **Plantae** é composto por organismos **multicelulares** que são **autotróficos fotossintetizantes**, apresentando diferenciação de tecidos. Reúne todos os vegetais terrestres, isto é, musgos, samambaias, gimnospermas e angiospermas. Em termos de reprodução, todas as espécies alternam gerações que produzem gametas (fase haploide) com a produtora de esporos (fase diploide) ao longo do ciclo de vida. As espécies desse reino formam um embrião após a fusão dos gametas e ele fica retido na estrutura produtora de gametas femininos.

#### Curiosidade

Existem evidências que os primeiros vegetais terrestres tiveram um ancestral em comum com as atuais algas verdes.

# Reino Fungi

O Reino **Fungi** é composto por organismos que em alguma fase do seu ciclo de vida são **multicelulares**, formando o <u>micélio</u>. Eles são considerados heterotróficos **sapróbios**, pois decompõem outros organismos e obtêm seus nutrientes por **absorção**. Diversas espécies desse reino apresentam relações simbióticas com as plantas, se associando às raízes, potencializando a absorção de água e nutrientes. Também existem associações de parasitismo com as plantas que causam grandes perdas econômicas nas lavouras.

#### icélio

Conjunto de hifas que podem apresentar septos dividindo suas células.

Os fungos apresentam muitas estratégias reprodutivas que podem ocorrer tanto de modo assexuado quanto sexuado.

Em algumas espécies, entretanto, só é conhecida a forma assexuada. Já existem mais de 100 mil espécies descritas e há a expectativa de muitas outras serem identificadas.

#### Exemplo

Leveduras, bolores, cogumelos são fungos, e também encontramos uma associação simbiótica entre fungos e algas que formam os líquens.

## Reino Animalia

O Reino **Animalia** contém 35 filos de organismos que são **multicelulares** e **heterotróficos** por ingestão.

## Os três domínios de Woese



Carl Woese e seus colaboradores participaram do início da revolução nos sistemas de classificação com a inclusão das técnicas de Biologia Molecular como ferramenta. Além disso, amostras de bactérias de fumarolas marinhas possibilitaram o contato com organismos nunca antes vistos.

Em 1990, a partir da comparação entre a estrutura das membranas celulares associadas às sequências que codificam o RNA ribossômico, foram estabelecidas relações de ancestralidade entre as bactérias analisadas e, assim, concluíram que o Reino Monera era parafilético.

Por esse motivo, o Domínio Prokaryota foi dividido em:

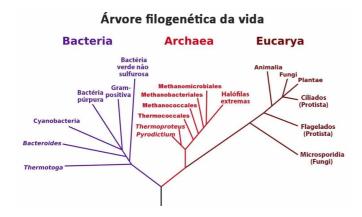


#### Domínio Bacteria



## Domínio Archaea

Então, esses dois domínios foram colocados no mesmo nível taxonômico do Domínio Eucarya, formando um sistema de classificação de três domínios. No Domínio Bacteria, encontramos as cianobactérias; as demais criptógamas estão incluídas no Domínio Eucarya.



Árvore filogenética contendo os três domínios de Woese.

Como você pode observar, os sistemas de classificação são mutáveis. Novas formas de organizar a classificação dos seres vivos vão continuar a surgir conforme novas tecnologias e técnicas são desenvolvidas, uma vez que elas podem tornar possível observações, mensurações, quantificações e identificações mais apuradas, aprimorando o conhecimento de características já avaliadas e outras tantas que ainda serão descobertas. Do mesmo modo, novas espécies ainda serão descritas. Assim, nos aproximamos cada vez mais de conhecer a real história evolutiva dos seres vivos.



# Afinal, o que o botânico faz?

Assista ao vídeo para identificar as diferentes possibilidades de atuação de um especialista em Botânica.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



# Falta pouco para atingir seus objetivos.

## Vamos praticar alguns conceitos?

#### **Questão 1**

A Classe Cryptogamia do sistema de classificação de Linnaeus estava inserida no Reino Plantae. Seus organismos contêm órgãos reprodutivos escondidos em suas superfícies. Em quais reinos do sistema de Whittaker encontramos os seres que no passado integraram essa Classe?

A Classe Cryptogamia, que continha apenas seres fotossintetizantes, foi desfeita e todos os seus membros agora integram o Reino Plantae.

- Todos os organismos fotossintetizantes que estiveram na Classe Cryptogamia foram transferidos para o Reino Protista, enquanto os não fotossintetizantes foram para o Reino Fungi.
- A Classe Cryptogamia deixou de existir e todos os seus membros foram transferidos para o Reino Protista.
- Todos os organismos fotossintetizantes que estiveram na Classe Cryptogamia foram transferidos para o Reino Plantae, enquanto os não fotossintetizantes foram para o Reino Fungi.
- Os vegetais terrestres com órgãos reprodutivos escondidos foram mantidos no

  Reino Plantae, as algas unicelulares e pluricelulares foram inseridas em

  Protistas e os fungos passaram a ser um reino a parte.

#### Parabéns! A alternativa E está correta.

A Classe Cryptogamia de Linnaeus foi fragmentada e distribuída em diferentes reinos com a transformação sofrida pelos sistemas de classificação ao longo da história. Essa transformação se iniciou com o auxílio do microscópio, acrescida de teorias evolutivas que embasaram as relações filogenéticas entre os organismos. No sistema de classificação de Whittaker, foram consideradas características como o tipo de células, grau de complexidade do plano do corpo, além da forma de obtenção de nutrientes e energia. As alternativas A, B, C e D são incorretas, pois a Classe Cryptogamia era composta tanto por seres fotossintetizantes quanto heterotróficos. No sistema de classificação de Whittaker, seus membros foram distribuídos entre os reinos Plantae, Protista e Fungi.

#### Ouestão 2

Por que não existe um sistema de classificação definitivo?

- Porque no passado ficou estabelecido que eles tivessem validade por tempo determinado.
- Porque cada pesquisador especialista em sistemática, ao fazer um novo sistema, invalida o anterior que estava vigente.
- Porque os sistemas de classificação são constantemente aprimorados visando se aproximarem ao máximo da real história evolutiva dos seres vivos. O surgimento de novas técnicas e equipamentos auxiliam no reconhecimento de novos caracteres.
- Porque as técnicas e análises de dados ainda são pouco eficazes para criar um sistema de classificação robusto, e também existem diferentes vertentes de pensamento que geram renovações constantes desses sistemas.
- Porque a renovação periódica de normas e recomendações do Código de

  Nomenclatura Botânica também torna necessária a revisão do posicionamento taxonômico de todos os organismos que em algum momento da história fizeram parte do Reino Plantae.

#### Parabéns! A alternativa C está correta.

O progresso técnico-científico é algo contínuo e é isso que determina o surgimento de sistemas de classificação cada vez mais aprimorados. Atualmente, utilizamos a teoria da evolução para fundamentar a construção dos sistemas de classificação que, portanto, devem seguir a filogenia. Não existe nenhuma regra que determine tempo de validade dos sistemas de classificação e as modificações são feitas na velocidade da ciência. Existem diversos sistemas de classificação sendo discutidos simultaneamente e, com o passar do tempo e com os avanços das pesquisas, tende-se a considerar um deles mais embasado e ele acaba sendo popularizado e mais seguido. Atualmente, as análises e técnicas estão tão robustas que

tornam possível inserir diversas classes de informações pertencentes a muitas espécies e tudo isso é analisado simultaneamente. Por fim, a renovação de normas e recomendações do Código de Nomenclatura Botânica não afeta o posicionamento dos dados em um sistema de classificação.



# 2 - Relacionando cianobactérias à evolução dos eucariotos fotossintetizantes

Ao final deste módulo, você será capaz de relacionar as cianobactérias à evolução dos eucariotos fotossintetizantes.

# Os primeiros seres vivos

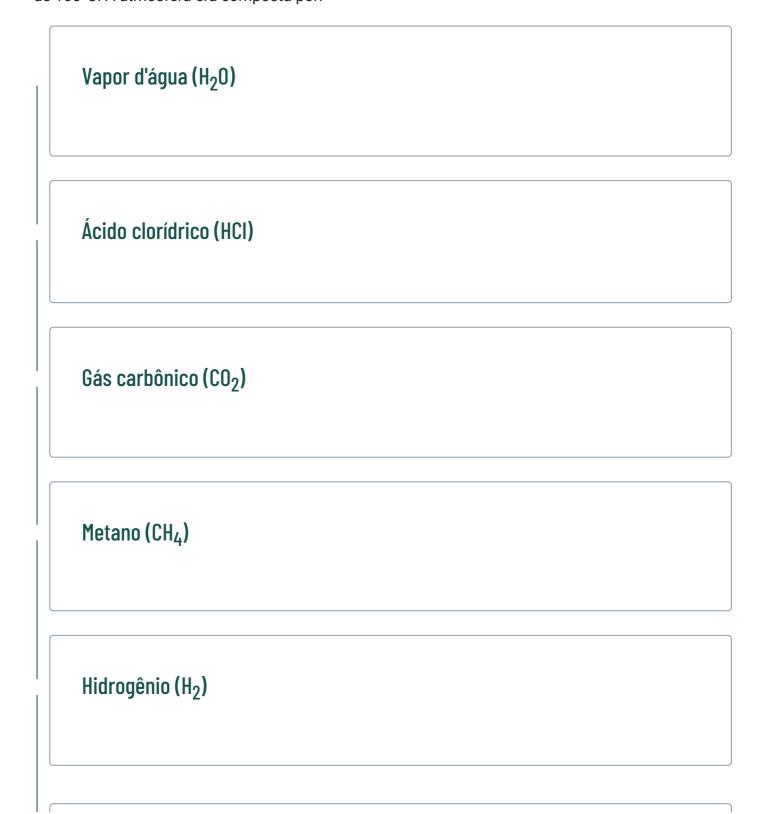
Começaremos a reconhecer os organismos fotossintetizantes que constituem parte da biodiversidade do planeta. Para compreendermos melhor sobre eles, teremos de voltar no tempo,

há alguns bilhões de anos.

Acredita-se que o nosso sistema solar, que inclui a Terra, foi formado há 4,8 bilhões de anos, quase 10 bilhões de anos após o Big Bang.

Nesse tempo, o planeta tinha condições ambientais muito distintas das que conhecemos hoje.

Dentre diversas outras características, existiam muitos vulcões, o que deixava a temperatura acima de 100°C. A atmosfera era composta por:



#### Nitrogênio (N<sub>2</sub>)

## Amoníaco (NH<sub>3</sub>)

### Sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S)

O oxigênio gasoso  $(O_2)$  ocorria em níveis insignificantes, consequentemente, não existia camada de ozônio para bloquear radiações como a ultravioleta. O estoque de oxigênio no planeta estava acoplado a moléculas como a da água  $(H_2O)$ , e não livre na forma gasosa. O  $CO_2$  em altas concentrações promovia o efeito estufa.



O vulcanismo foi reduzido, assim como as emissões de gás carbônico, e a temperatura do planeta resfriou para algo em torno de  $100^{\circ}$ C. Entretanto, estima-se que dentro da água a temperatura ficasse entre  $55^{\circ}$  a  $85^{\circ}$ C. **Nessas condições, há aproximadamente 3,8 bilhões de anos (Eon Arqueano), as bactérias surgiram em meio aquático**. Elas foram os primeiros seres vivos a habitar o planeta. Elas eram heterotróficas e realizavam respiração anaeróbica, reduzindo o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e utilizando o sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) como receptor final de elétrons nesse processo de respiração.

Essas bactérias seriam ancestrais das atuais *Desulfovibrio* e são chamadas de bactérias redutoras de sulfato por causa da sua forma de realizar respiração. Esse tipo de metabolismo fez com que elas sintetizassem porfirina. Uma molécula formada por um anel do tipo porfírico que possui uma conformação similar ao anel encontrado na molécula de clorofila *a*.

Comparação entre estrutura molecular do anel da porfirina e da clorofila a.

Algumas dessas primeiras bactérias sofreram mutações, e as gerações derivadas passaram a gerar uma porfirina modificada contendo uma nova habilidade. Ela passou a capturar a **energia luminosa do sol**. Essas novas linhagens de bactérias são ancestrais das **bactérias verdes**, **verdes sulfurosas**, **púrpuras e outras**.

Tais linhagens surgiram com a capacidade de realizar uma fotossíntese mais simplificada. O metabolismo delas utilizava hidrogênio como fonte de energia, a partir da quebra de moléculas com ligações fracas em reações químicas contendo o  $CO_2$ . Esse tipo de ligação ocorre no hidrogênio gasoso ( $H_2$ ), no sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), que, ao serem quebrados, liberavam energia para a formação de moléculas orgânicas, como o metanal ( $CH_2O$ ), liberando água como resíduo.

Nesse primeiro tipo de fotossíntese das sulfobactérias, havia apenas um único fotossistema atuando. Ele absorvia a luz na faixa de comprimento de onda de 700nm e a energia absorvida quebrava as moléculas já mencionadas. Então, acredita-se que a clorofila *a* já fazia parte desse fotossistema, provavelmente ocorrendo pela primeira vez em sulfobactérias.

Algumas dessas sulfobactérias sofreram eventos de mutação que levaram à formação de mais um fotossistema no processo fotossintético, conhecido como fotossistema II. Essa novidade evolutiva propiciou mudanças planetárias significativas por conta das suas características.

O fotossistema II tinha a habilidade de absorver a luz em uma faixa de comprimento de onda de maior energia, aos 680nm. Isso tornou possível quebrar a molécula de água ( $H_2O$ ) por oxidação. Essa molécula possui ligações fortes entre seus átomos, resultando na liberação de íons  $H^+$  e oxigênio gasoso ( $O_2$ ).

Então, nessa fotossíntese com dois fotossistemas, os íons de hidrogênio eram direcionados para compor moléculas como NADPH e ATP que armazenam a energia para diversos outros processos vitais, incluindo a fixação do CO<sub>2</sub> no ciclo de Calvin, aquele que gera a glicose.

Portanto, as **cianobactérias** foram as primeiras, há 3,5 bilhões de anos, a realizar a fotossíntese com dois fotossistemas e contendo, em ambos, moléculas de clorofila a. Esse foi considerado o ponto inicial para a formação de uma atmosfera oxigenada que somente alcançou altos níveis por volta de 2,2 bilhões de anos atrás (Eon Proterozoico) e que levou à formação da camada de ozônio.

Os fotossistemas são complexos proteicos que contêm pigmentos fotossintetizantes e estão inseridos nas membranas tilacoides de cianobactérias e eucariotos fotossintetizantes. Também

são chamados de centro de reação da fotossíntese e iniciam o processo de conversão da energia luminosa do sol em energia química. Existem dois tipos:

#### Fotossistema I (PSI)

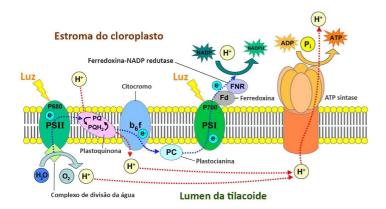
O PSI é mais reativo ao comprimento de onda de 700nm e tem como receptor de elétrons um complexo tipo ferredoxina.



#### Fotossistema II (PSII)

O PSII é mais reativo ao comprimento de onda de 680nm e utiliza uma quinona como receptor de elétrons.

Diversos grupos ancestrais de bactérias, incluindo as cianobactérias, propagaram em suas gerações seguintes uma nova adaptação à condição de alta concentração de oxigênio na atmosfera. Era um processo de desintoxicação do oxigênio que, ao quebrar essa molécula, gerava grande quantidade energia para outros processos vitais. **Assim, surgiu a respiração aeróbia**.



Esquema do processo fotossintético composto por dois fotossistemas.

## As cianobactérias como conhecemos atualmente

Como vimos, as cianobactérias foram os primeiros organismos no planeta a efetuar fotossíntese, que libera o oxigênio como resíduo do processo, e foram também as primeiras a serem consideradas algas. As bactérias foram dominantes durante a maior parte do Eon Proterozoico, entre 2,5 bilhões e 750 milhões de anos atrás, período conhecido como a **Idade das Bactérias**.

Nesse tempo, formaram estruturas petrificadas conhecidas como estromatólitos, resultantes da agregação de cianobactérias, com outras algas e sedimentos com carbonato, formando camadas.

Esses depósitos cresciam muito lentamente, um metro de estromatólito se desenvolvia a cada 3 mil anos.

Encontramos essas estruturas como fósseis, o que auxiliou a identificar a presença desses organismos ao longo da escala geológica, quando eles injetaram oxigênio nos oceanos até saturálos, iniciando a liberação de  $O_2$  para a atmosfera. Ainda em dias atuais, podemos observar a construção lenta com essas rochas constituídas de algas ainda vivas associadas ao sedimento.



Estromatólitos na Austrália.

Você pode encontrar variações na forma de nominar essas algas dependendo da época das publicações científicas. Podem ser chamadas como *Cyanobacteria*, *Cyanophyta*, *Cyanophyceae* ou, ainda, de modo informal como algas azuis, algas verde-azuladas. **Linnaeus descreveu a primeira espécie desse grupo e a inseriu na Ordem Algae**.

Estima-se que atualmente existem pelo menos 3.100 espécies de cianobactérias já descritas.

# Caracterização das cianobactérias

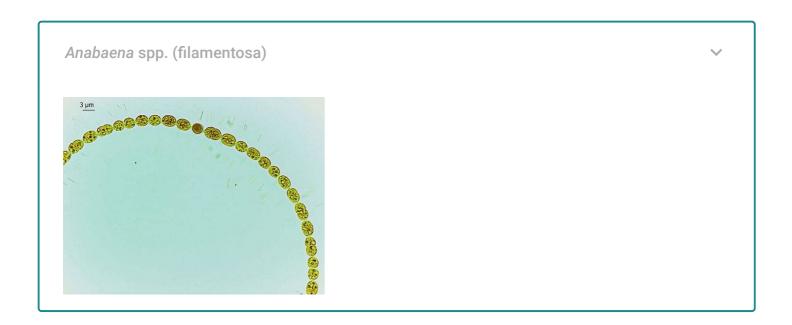
A classificação das espécies de cianobactérias é algo um tanto complexo. É preciso reunir uma série de informações de diferentes áreas do conhecimento para distinguir esses microrganismos. Primariamente, a taxonomia era baseada em critérios morfológicos, mas o ambiente pode alterar a forma desses organismos. Então a partir dos anos 90, a descrição de novas espécies passou a também incluir informações sobre a ecologia, fisiologia, bioquímica, biologia molecular e ultraestrutura celular para ser possível uma identificação mais assertiva dos espécimes. **Também foi nessa época que elas passaram a compor o Domínio Bacteria**.

#### Curiosidade

Mas quais características indicam que o organismo é uma cianobactéria?

Elas são microscópicas. O tamanho de suas células pode variar 0,5 a 60µm de comprimento, sendo caracterizadas como unicelulares ou coloniais, das quais algumas espécies formam filamentos constituídos por tricomas. Entretanto, as formas coloniais, incluindo as filamentosas, podem ser muito densas ao ponto de nós percebermos a presença delas a olho nu.

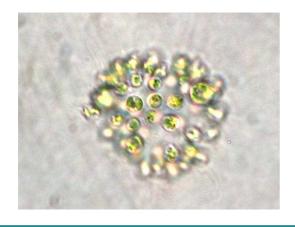
Vamos acompanhar a seguir alguns dos gêneros encontrados em corpos d'água no Brasil.



Cylindrospermum spp. (filamentosa)



#### Mycrocystis spp. (colonial)



#### Nostoc spp. (filamentosa)

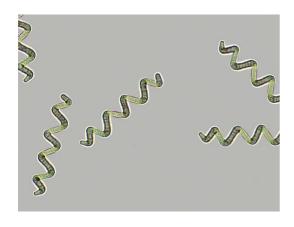


### Oscillatoria spp. (filamentosa)

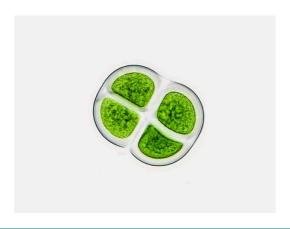
.



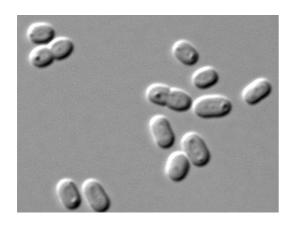




Chroococcus spp. (colonial)



Synechococcus spp. (unicelular)



Existem diversos ambientes em que podemos encontrar essas algas azuis. Elas podem ser aquáticas, tolerando viver tanto em água doce quanto marinha, em sedimentos de rios e praias, como epífitas de outras algas, em colunas d'água, ou ainda em ambientes aquáticos extremos com águas ácidas, básicas e em fontes termais.

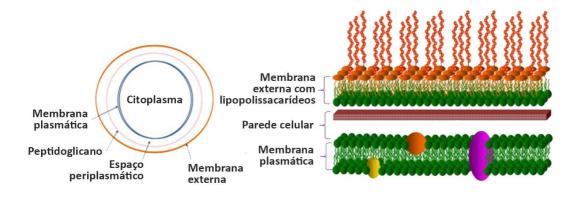
#### Curiosidade

Apesar de não parecer possível, encontramos também as cianobactérias em ambiente terrestre sobre o solo, pedras, árvores e também realizando associações biológicas.

Existem informações gerais sobre a bioquímica e a citologia que são inerentes às cianobactérias. Todas as espécies são Gram-negativas, portanto, as paredes celulares coram com a cor vermelha ao realizar o método de coloração de Gram. Isso ocorre porque são compostas por uma parede celular mais fina constituída por peptidoglicano (do tipo Mureína) que é envolvida externamente por uma membrana composta pelas moléculas de <u>lipopolissacarídeos</u> e, internamente, pela membrana plasmática.

## ipopolissacarídeos

Lipídios associados a carboidratos de longas cadeias



Caracterização do envoltório celular típico de cianobactérias.

As células podem estar imersas em uma bainha de mucilagem extracelular, que é composta por polissacarídeos e formam um gel ao redor delas, auxiliando na retenção da umidade. Essa mucilagem também atua como meio de deslocamento para as células, pois as espécies não possuem flagelos ou outras estruturas que realizam movimento em nenhum momento do ciclo de vida. A própria excreção da mucilagem provoca propulsão e, consequentemente, o deslocamento.

#### Saiba mais

Existe outro tipo de movimento chamado de helicoidal, que ocorre por ondas causadas pela contração da célula.

As cianobactérias possuem um conjunto de pigmentos típicos, compostos pelas moléculas de clorofila *a* e pelos pigmentos acessórios conhecidos como ficobilinas — ou ficobiliproteínas —, além da presença dos carotenoides. Todos eles estão associados à membrana tilacoide formando agregados inicialmente encontrados nesse grupo, os ficobilissomos.

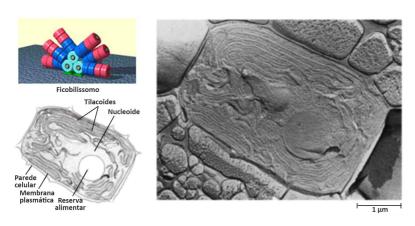


Foto de microscopia eletrônica de Anabaena e ficobilissomo em destaque.

Essas ficobilinas são de três tipos distintos e ocorrem simultaneamente, entretanto, em distintas concentrações.



## **Ficoeritrina**



## **Ficocianina**



### **Aloficocianina**

A ficoeritrina tem coloração vermelha; a ficocianina, cor azul, absorvendo luz em menores comprimentos de onda que a aloficocianina, que também é azulada. Os carotenoides existentes são de dois tipos: β-caroteno e mixoxantofila.



Diversidade de formas e pigmentos das cianobactérias.

No protoplasto das células, encontramos produtos de reserva como amido das cianofíceas, que é um tipo de glicogênio, e grânulos de cianoficina, que são proteínas de reservas. Também existem os grânulos de polifosfato, que armazenam fosfato e são mais frequentes em células mais velhas, e os carboxissomos ou corpos poliédricos, que se encontram na porção mais central da célula e concentram uma das enzimas participantes do ciclo de Calvin, responsável pela fixação do CO<sub>2</sub>. Vacúolos gasosos também estão distribuídos no protoplasto.

#### Atenção!

É importante destacar que esses vacúolos são individualizados por uma membrana proteica e não lipídica como nos eucariotos.

Além dessas estruturas, temos o DNA circular que não está envolto por uma membrana nuclear e se aglutina em uma massa, formando o nucleoide.

# Reprodução e células especiais das algas azuis

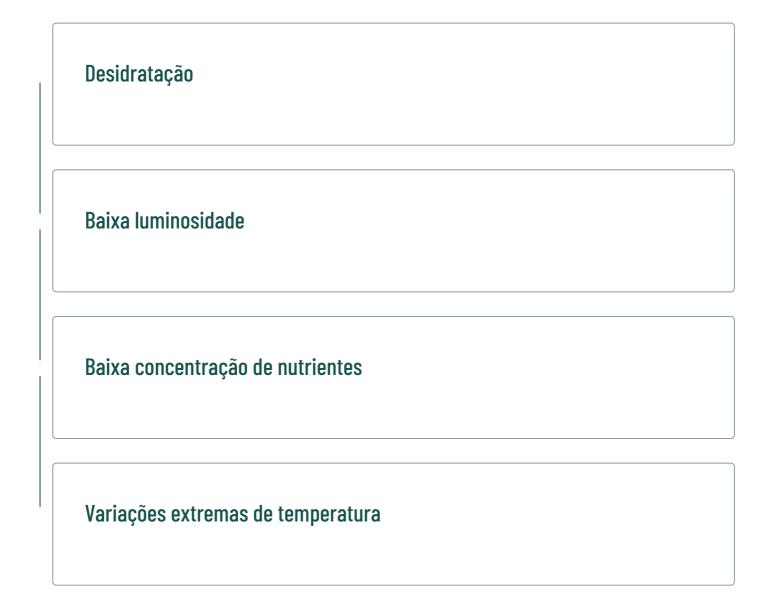
A reprodução das cianobactérias é baseada na divisão binária simples e principalmente assexuada, com raras descrições de recombinação genética com mecanismos ainda não estabelecidos. Em

diversas espécies, são formadas células especializadas para a reprodução. Podemos ter hormogônios e acinetos.

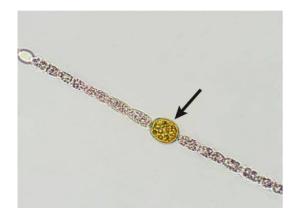
### Como atuam essas diferentes células na reprodução das cianobactérias?

O hormogônio (h) é um trecho do filamento principal que se destaca, tem motilidade e forma um novo indivíduo igual ao seu doador, atuando como propágulo. Espécies do gênero Calothrix também se reproduzem a partir de hormogônio.

O acineto é uma célula de resistência, maior que as demais do mesmo filamento, com paredes espessadas e substâncias de reserva em seu interior. Uma célula comum se torna acineto quando as condições ambientais se tornam desfavoráveis. Dentre os fatores que provocam o aparecimento dessa célula estão:



Ela se desprende do filamento por ser uma célula mais pesada, dada a sua estrutura, e é liberada no ambiente. Assim que as condições ambientais se tornam favoráveis, inicia-se o processo de divisão celular formando uma nova cianobactéria, idêntica àquela que formou o acineto.



Acineto de uma cianobactéria em destaque.

Existe outro tipo de célula especial não relacionado à reprodução, mas, sim, a uma habilidade ímpar das cianobactérias: o **heterocisto**. Ele é resultado da modificação de uma célula vegetativa, lembra um esporo em um primeiro momento. É grande, com paredes espessas, porém transparentes. Geralmente, ocorrem alguns heterocistos por filamento e sua função é fixar o nitrogênio atmosférico.

## Nenhum outro organismo fotossintetizante é capaz de realizar essa tarefa.

O nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) apresenta uma ligação tripla entre seus átomos, portanto, uma ligação forte, difícil de ser rompida. Para seu rompimento, é necessária uma substância especial, a enzima nitrogenase, e ela só é produzida nos heterocistos.

Essas células especiais possuem ligações com as adjacentes por poros, não realizam fotossíntese que libere  $O_2$ , pois não possuem fotossistema II, e nem produzem seus próprios carboidratos, que são importados das células vizinhas. A nitrogenase produzida só se torna ativa na ausência de oxigênio, e assim quebra a molécula de  $N_2$ , possibilitando a formação de novas moléculas nitrogenadas que são utilizadas no metabolismo das cianobactérias e de outros organismos que se associem a ela. *Anabaena* e *Nostoc* são exemplos de gêneros que possuem heterocisto.



Anabaena circinales com heterocisto destacado pela seta.

# Importância ecológica das cianobactérias e a produção de toxinas

Algumas características positivas das cianobactérias no meio ambiente já foram mencionadas anteriormente, como o início do processo de aumento da concentração de O<sub>2</sub> na atmosfera do planeta. Também descrevemos que muitas espécies são capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas usáveis, principalmente quando esse mineral não está disponível no meio aquático na forma de moléculas assimiláveis pelos organismos.

As cianobactérias também podem estabelecer relações simbióticas, por ora consideradas mutualísticas, com outros organismos. Espécies do gênero *Nostoc* ocorrem associadas a fungos, formando cerca de 8% das espécies de líquens. Também são encontradas *Anabaena* fotossinteticamente ativas nas folhas de uma samambaia aquática do gênero *Azolla* que é usualmente inserida nos cultivos de arroz. Em ambos os casos, essas cianobactérias auxiliam esses organismos complexos a obterem compostos nitrogenados importantes para o desenvolvimento, pois realizam a quebra do nitrogênio atmosférico.

## Saiba mais

Além disso, elas também fornecem para os líquens parte dos açúcares produzidos na sua fotossíntese, enquanto líquens e *Azolla* promovem às cianobactérias ambientes mais estáveis.

É cada vez mais comum observarmos, no entanto, o crescimento exacerbado dessas algas azuis, gerando grandes florações também conhecidas como *Bloom*. Nessas situações, são detectadas concentrações de cianobactérias acima de 100 mil células por mililitro, **o que modifica a coloração** 

da água e, muitas vezes, também o gosto e o odor. Esses eventos ocorrem mais comumente por causa de desequilíbrio ambiental no ambiente aquático.



Bloom de Microcystis aeruginosa em Lake Albert, Australia.

A poluição por esgoto doméstico, que é geralmente rica em compostos nitrogenados e fosfatada, quando associada à alta intensidade luminosa e temperaturas acima de 25°C, aumenta as chances de promover o *Bloom* desses organismos. Assim, essas florações adensadas bloqueiam a passagem de luz para outros organismos fotossintetizantes bentônicos, que têm a sua produção de oxigênio reduzida.

Em um segundo momento, se não houver mais compostos nitrogenados e fosfatados, ocorrerá uma morte em massa dessas cianobactérias, estimulando uma intensa atividade de microrganismos decompositores que promovem um maior consumo de oxigênio, comprometendo a sobrevivência dos peixes nessa região.

Portanto, eventos de florações costumam impactar negativamente na diversidade biológica local.

Outra situação preocupante causada pelas cianobactérias é o *Bloom* em reservatórios de água para consumo humano:

## Exemplo

Durante alguns verões no Rio de Janeiro, ocorreram florações que liberavam uma substância conhecida como geosmina, conferindo um gosto de terra à água consumida na cidade. Essa substância não causa prejuízos à saúde humana, até onde se sabe.

Existem diversas espécies de cianobactéria capazes de produzir toxinas que são deletérias para a nossa saúde e de outros animais, como moluscos e peixes, podendo ocorrer a bioacumulação. Essas cianotoxinas são resultantes do metabolismo secundário das cianobactérias e nós podemos

nos intoxicar ao bebermos água ou ao consumirmos organismos que estejam contaminados por elas.

#### Atenção!

As moléculas de cianotoxinas costumam não ser degradadas em altas temperaturas, portanto, o cozimento de alimentos e a fervura de água contaminada não são suficientes para eliminá-las.

Vamos acompanhar a seguir as classes de cianotoxinas mais comuns.

Hepatotoxinas

Microscistinas e nodularinas

Encontradas em espécies dos gêneros *Anabaena*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Planktothrix*, entre outros. Dependendo do grau de intoxicação, elas podem causar desde enterites e hepatites até situações mais crônicas, formando tumores ou causando necrose hepática.

Citotoxinas

Cilindrospermopsina

Presentes em espécies dos gêneros *Cylindrospermopsis* e *Aphanizomenon*. Impactam órgãos que atuam na tentativa de desintoxicar o corpo, como é o caso do fígado, dos rins e do intestino, causando danos citológicos, isto é, diretamente nas células, por inibir a síntese de proteínas.

Dermatoxinas

Lingbiatoxina

Encontrada em espécies de Lyngbya. Provocam inflamação cutânea (dermatite).

#### **Neurotoxinas**

## Anatoxina-A

Descrita para espécies dos gêneros *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*. Atua em neurotransmissores causando superestimulação dos músculos e, nos casos mais graves, paralisia, levando a óbito por parada cardiorrespiratória.

### Saxitoxinas

Descritas inicialmente em espécies de dinoflagelados e depois registradas para cianobactérias dos gêneros *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermum*. Provocam a paralisação em moluscos e, por isso, são também conhecidas como toxinas paralisantes de moluscos. Em humanos, podem reduzir a transmissão de impulso nervoso entre os neurônios e, nos casos mais agudos, provocar morte por parada respiratória.

Uma mesma espécie pode ser ou não produtora de toxinas. Existem estímulos que desencadeiam a produção dessas substâncias e há também linhagens mais propensas a sintetizá-las. Além disso, nem todos os organismos são sensíveis a essas toxinas, as águas-vivas são um exemplo.

#### Curiosidade

As cianobactérias podem também trazer benefícios para a nossa saúde. Espécies de *Spirulina*, *Aphanizomenon* e *Nostoc* são utilizadas tradicionalmente na alimentação de povos das Américas, África e Ásia. Além disso, existem pesquisas testando substâncias extraídas das algas azuis com atividade antiviral para HIV e Herpes simplex, além de compostos com ações antifúngica e antitumoral.



# Quem, além de nós, se beneficia das cianobactérias?

O vídeo abaixo irá ajudá-lo a reduzir o estigma de que sempre as cianobactérias promovem efeitos deletérios.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.

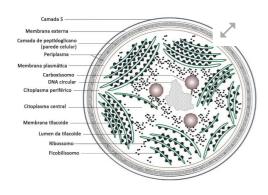


# Surgimento dos eucariontes fotossintetizantes

Desde quando surgiram, os eucariontes possuem dentro de suas células diversas organelas individualizadas por membranas, inclusive o núcleo, diferindo por isso dos procariontes.

Os eucariontes também diferem pelo tamanho maior das células, pela maior complexidade e pelo gasto energético superior ao das células procariontes.

Uma das teorias mais aceitas que justificaria a origem dos eucariotos é a **teoria da endossimbiose**, amplamente divulgada pela bióloga **Lynn Margulis** (1938–2011).



Estrutura celular de procarionte fotossintetizante.



Estrutura celular de eucarionte fotossintetizante.

Segundo essa teoria, entre 1,5 e 2 bilhões de anos atrás, **bactérias** — provavelmente uma bactéria púrpura não sulfurosa — e **cianobactérias** ancestrais teriam originado as **mitocôndrias** e os **cloroplastos** respectivamente. Esses procariontes unicelulares ancestrais teriam sido fagocitados e não digeridos, mantendo-se capturados e atuando como endossimbiontes de **archaeabactérias** heterotróficas, unicelulares, que atuaram como hospedeiras.

As primeiras células eucariontes teriam adquirido as mitocôndrias (ora bactérias) e, posteriormente, células eucariontes que já possuíam mitocôndrias teriam adquirido cianobactérias, que se tornariam os cloroplastos. As bactérias e cianobactérias endossimbiontes fagocitadas transferiram parte de seus genes para integrar o código genético da célula hospedeira.

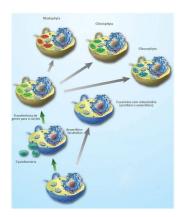
Esse processo é chamado de transferência lateral de genes, no qual um organismo transfere genes para outra célula que não é sua descendente.

Dessa forma, mitocôndrias e cloroplastos possuem material genético próprio que coordena parte do funcionamento de ambos. A outra parte é coordenada pelo núcleo da célula considerada antes hospedeira, que, após os endossimbiontes passarem a atuar como mitocôndrias e cloroplastos, se tornou uma célula eucarionte.



A relação de simbiose que originou o primeiro cloroplasto é chamada de endossimbiose primária. Acredita-se que todos eles surgiram de um único evento de simbiose, mas desse primeiro cloroplasto muitos outros tipos foram gerados.

Após diversas replicações ao longo de alguns milhares de anos, o cloroplasto inicial foi sofrendo mutações que levaram ao aparecimento de três linhagens de células. Seus cloroplastos possuíam características em comum, como o número de membranas que os recobre, mas também diferiam em alguns aspectos, como os pigmentos produzidos e as substâncias que constituem suas membranas. Assim, sugiram os ancestrais das algas verdes (Chlorophyta), das algas vermelhas (Rhodophyta) e das glaucófitas (Glaucophyta, pequeno grupo de organismos unicelulares que existem até hoje e ainda possuem cloroplastos com aspecto muito similar às cianobactérias).



Endossimbiose primária de cianobactérias que se tornaram cloroplastos.

Outras linhagens de organismos eucariotos fotossintetizantes surgiram a partir de eventos sucessivos de endossimbiose. Organismos unicelulares que obtiveram seus cloroplastos por endossimbiose primária também foram fagocitados e não digeridos por outras células eucariontes, formando posteriormente cloroplastos distintos por endossimbiose secundária. O mesmo processo ocorreu com esses organismos, gerando novos tipos de cloroplastos por endossimbiose terciária.

Existem vários indícios que dão suporte a essa teoria.

O DNA está presente nas mitocôndrias e nos cloroplastos, e se apresenta de modo semelhante ao encontrado nos procariontes, isto é, não estão enrolados e na proteína histona.

Mitocôndrias e cloroplastos possuem pelo menos uma membrana dupla os circundando. No caso de o cloroplasto apresentar mais de duas, a mais externa possui origem eucariótica.

A clorofila a é o principal pigmento dos organismos fotossintetizantes, sejam eles procariontes ou eucariontes.

Diversos genes contidos em mitocôndrias e cloroplastos de eucariontes também são encontrados nos procariotos.

Mitocôndrias e cloroplastos possuem tamanho similar ao das bactérias e, assim como elas, também possuem ribossomos.

Ambas as organelas têm a capacidade de se autoduplicar dentro das células, mas não fora delas, demonstrando a existência de uma regulação da célula hospedeira

nesse processo.

Toda a diversidade de eucariontes fotossintetizantes fósseis e atuais se originou dessas células com cloroplastos obtidos por eventos de endossimbiose primária, secundária e terciária. Pode-se dizer que as cianobactérias ancestrais promoveram a existência de todos os produtores primários do planeta.

Muitos estudos estão sendo continuamente realizados a fim de mapear as relações entre a endossimbiose e o surgimento dos vários grupos de organismos. Em breve, essas informações irão promover mudanças no sistema de classificação vigente.

# Falta pouco para atingir seus objetivos.

## Vamos praticar alguns conceitos?

#### **Ouestão 1**

O planeta Terra já teve condições ambientais muito inóspitas, mas a diminuição das erupções vulcânicas possibilitou a redução na temperatura do planeta, inclusive dentro d'água. Desse modo, formas de vida começaram a surgir, das quais as bactérias são as pioneiras.

Qual a contribuição dos procariotos na continuidade das transformações ambientais do planeta entre os Eons Archeano e Proterozoico?

As ancestrais das bactérias verdes sulfurosas utilizavam o hidrogênio para obter energia para os seus processos vitais e, para isso, quebravam moléculas de metanal e liberavam o oxigênio como resíduo, propiciando a oxigenação da atmosfera.

Α

В

C

Ε

Durante a Idade das Bactérias, os diversos grupos de bactérias existentes conseguiram reduzir o efeito estufa consumindo CO<sub>2</sub>, fixando o carbono e liberando oxigênio para a atmosfera.

A bactéria *Desulfovibrio* realizava a quebra de moléculas contendo enxofre para realizar a respiração desde o Eon Arqueano. Esse evento reduziu a disponibilidade de enxofre nos corpos d'água.

A partir do surgimento das cianobactérias, tornou-se possível quebrar H20 utilizando a energia solar, pois elas possuíam fotossistema II. Assim, o O<sub>2</sub> foi liberado para a atmosfera e permitiu a formação da camada de ozônio.

Diversos grupos de bactérias desenvolveram a habilidade de realizar a respiração aeróbia. Dessa forma, puderam contribuir para a formação de uma atmosfera oxigenada e consequentemente para a formação da camada de ozônio.

## Parabéns! A alternativa D está correta.

Foram consideradas cianobactérias aquelas que passaram a ter dois centros de reação na realização do processo da fotossíntese. O fotossistema I, o primeiro a existir, absorvia desde tempos remotos a luz em comprimento de onda de 700nm. Essa energia não era suficiente para romper as ligações da molécula de água. Após as mutações que promoveram a formação do fotossistema II, tornou-se possível romper a molécula de água, pois esse fotossistema absorvia desde então energia luminosa aos 680nm, portanto comprimento de onda mais energético que o do fotossistema I. Dessa forma, a molécula de água passou a ser quebrada no processo fotossintético, liberando oxigênio gasoso para a atmosfera e posteriormente permitindo a formação da camada de ozônio.

As demais respostas possuem pelo menos algum trecho incorreto. De acordo com a alternativa A, as ancestrais das bactérias verdes sulfurosas de fato utilizavam o hidrogênio para obter energia para os seus processos vitais, entretanto, essa energia resultante da quebra

de moléculas com hidrogênio era direcionada para a produção de moléculas orgânicas como o metanal, tendo a água como resíduo. Na alternativa B, os diversos grupos de bactérias realmente conseguiam, desde aquele tempo, utilizar o CO2 para a fixação de carbono em processo fotossintético, no entanto, somente as cianobactérias, que eram as que possuíam o fotossistema II, quebravam a molécula de água liberando o oxigênio para a atmosfera. As bactérias do gênero *Desulfovibrio* são atuais e não viveram durante o Arqueano, apenas suas ancestrais, o que torna a alternativa C incorreta. As bactérias desse grupo de fato utilizam compostos sulfatados no processo de respiração, mas o enxofre é liberado para a água, sendo um resíduo dessa quebra. Na alternativa E, está correto dizer que "diversos grupos de bactérias desenvolveram a habilidade de realizar a respiração aeróbia", contudo, a respiração aeróbia consome oxigênio ao invés de liberá-lo para atmosfera.

### **Ouestão 2**

A teoria da endossimbiose, divulgada amplamente por Margulis, trata a origem da célula eucarionte por meio do surgimento de mitocôndrias e cloroplastos. Diversas características indicam que bactérias e cianobactérias ancestrais originaram as mitocôndrias e os cloroplastos respectivamente. Qual das evidências a seguir reforça a teoria da endossimbiose?

- Mitocôndrias e cloroplastos possuem uma camada de gel ao redor de suas membranas.
- B Mitocôndrias e cloroplastos apresentam DNA próprio.
- C Mitocôndrias e cloroplastos possuem citoesqueleto.
- Mitocôndrias e cloroplastos ocorrem um por célula, pois não são capazes de se autoduplicar.

Е

Mitocôndrias e cloroplastos possuem núcleo delimitado por membrana.

## Parabéns! A alternativa B está correta.

De todas as características expostas, apenas a presença de DNA próprio ocorre em mitocôndrias e cloroplastos e esse DNA tem sequências genéticas que também são encontradas em procariotos. As organelas não possuem camada de gel ao redor da membrana, apesar de existirem espécies de bactérias com essa característica. Procariontes não possuem citoesqueleto, apenas eucariontes. Tanto as mitocôndrias quanto os cloroplastos têm a capacidade de se autoduplicar dentro das células, mas não conseguem ter uma vida livre e se reproduzir fora delas. Como mitocôndrias e cloroplastos derivam de procariontes, elas não possuem núcleo delimitado por membranas.

## Considerações finais

Conhecemos diferentes sistemas de classificação elaborados ao longo da história e vimos a grande contribuição dada por Linnaeus, que, no século XVIII, modificou a forma de classificar os organismos e segmentou o Reino Vegetal em diversas categorias taxonômicas, com as classes baseadas em caracteres reprodutivos, destacando-se aqui a Cryptogamia que continha seres com os órgãos de reprodução escondidos. Ele fez ampla divulgação do sistema de nomenclatura binomial que utilizamos até hoje.

Vimos que Haeckel propôs o Reino Protista no século XIX, inspirado pelas ideias evolucionistas de Darwin e pela descoberta dos microrganismos com a invenção do microscópio. Haeckel considerou que Protistas ancestrais seriam a base para a evolução de Plantae e Animalia.

No século passado, a classificação fundamentada na filogenia avançou com a criação dos domínios Prokaryota e Eukaryota que englobavam os reinos conforme a presença ou não de

carioteca. Também foram delimitados dois novos reinos: Monera e Fungi, o que configurou um sistema com cinco Reinos.

Aprendemos que Monera não possui carioteca, pode ser unicelular, filamentoso ou colonial, nutrindo-se como autotróficos fotossintetizantes, autotróficos quimiossintetizantes ou heterotróficos por absorção. Vimos que os demais Reinos apresentam carioteca: organismos do Reino Protista podem ser unicelulares, coloniais ou multicelulares e se nutrir como autotróficos fotossintetizantes, heterotróficos por absorção ou por ingestão. Plantae, Fungi e Animalia apresentam organismos multicelulares e suas formas de nutrição são autotróficos fotossintetizantes, heterotróficos por absorção e heterotróficos por ingestão, respectivamente.

Vimos que, mais recentemente, nos anos 90, Woese elaborou um sistema de classificação contendo três domínios (Archaea, Bacteria e Eucarya) baseado em características da membrana da célula de bactérias somadas a sequências de RNA ribossômico.

Vimos também que, há 3,5 bilhões de anos, as cianobactérias foram os primeiros organismos a realizar um tipo de fotossíntese capaz de gerar o oxigênio (O<sub>2</sub>) como resíduo e liberá-lo para a atmosfera. Aprendemos que os estromatólitos permitiram a identificação das cianobactérias desde tempos remotos. As espécies atuais possuem diversas características que as unem como grupo taxonômico, por exemplo, o tipo de envoltório celular, pigmentos fotossintetizantes formando ficobilissomos, aspectos bioquímicos relacionados às substâncias de reserva e toxinas que podem ser produzidas. Ambientes aquáticos poluídos por esgoto doméstico podem promover eventos de floração com a presença dessas toxinas, causando um maior impacto no meio ambiente e promovendo ainda riscos à saúde humana. Descobrimos que as cianobactérias seriam as responsáveis pelos eucariotos realizarem fotossíntese por conta de eventos de endossimbiose.



Ouça o Podcast "Nomenclatura botânica, da história à prática" para saber mais sobre a nomenclatura botânica antes e depois da criação do Código Internacional de Nomenclatura Botânica.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



## Referências

AZEVEDO, S. M. F. O.; EVANS, W. R.; CARMICHAEL, W. W.; NAMIKOSHI, M. First report of microcystins from a Brazilian isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. Journal of Applied Phycology, v. 6, n. 3, p. 261-265, 1994.

CASTRESANA, J.; SARASTE, M. **Evolution of energetic metabolism**: the respiration-early hypothesis. Trends in Biochemical Sciences, v. 20, n. 11, p. 443-448, 1995.

DEMAY, J.; BERNARD, C.; REINHARDT, A.; MARIE, B. **Natural products from cyanobacteria: focus on beneficial activities**. Marine Drugs, v. 17, n. 6, p. 320-369. 2019. Consultado na internet em: 24 maio 2021.

GRAY, M. W. Lynn Margulis and the endosymbiont hypothesis: 50 years later. Molecular Biology of the Cell, v. 28, n. 10, p. 1285-1287, 2017.

HAECKEL, E. **Generelle morphologie der organismen**. Allgemeine grundzüge der organischen formen-wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte descendenztheorie. Berlin: G. Reimer, 1866.

LINNAEUS, C. Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. 10. ed. rev. Stockholm: Laurentius Salvius, 1758. v. 1, 824 p.

MARGULIS, L.; BERMUDES, D. **Symbiosis as a mechanism of evolution**: status of cell symbiosis theory. Symbiosis, v. 1, p. 101-124, 1985.

MARTIN, W. F.; GARG, S.; ZIMORSKI, V. **Endosymbiotic theories for eukaryote origin**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 370, p. 20140330. 2015.

MILLS, L. A.; MCCORMICK, A. J.; LEA-SMITH, D. J. Current knowledge and recent advances in understanding metabolism of the model cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803. Bioscience Reports, v. 40, n. 4, p. BSR20193325, 2020.

RAMOS, V. et al. **Cyanobacterial diversity held in microbial biological resource centers as a biotechnological asset: the case study of the newly established LEGE culture collection**. Journal of Applied Phycology, v. 30, n. 3, p. 1437-1451, 2018.

RAVEN, P. H.; EICHHORN, S. E.; EVERT, R. F. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 867 p.

SANT'ANNA, C. L.; BRANCO, L. H. Z.; GAMA JÚNIOR, W. A.; WERNER, V. R. Lista de Cyanobacteria do Estado de São Paulo. Biota Neotropica, v. 11, suppl. 1, p. 455-495, 2011.

SEN, S. Cyanobacterial membrane biology under environmental stresses with particular reference to photosynthesis and photomorphogenesis. *In*: SINGH, P. K.; KUMAR, A.; SINGH, V. K.; SHRIVASTAVA, A. K. Advances in Cyanobacterial Biology. London: Academic Press, 2020, p. 73-84.

SOUSA, F. L.; SHAVIT-GRIEVINK, L.; ALLEN, J. F.; MARTIN, W. F. Chlorophyll biosynthesis gene evolution indicates photosystem gene duplication, not photosystem merger, at the origin of oxygenic photosynthesis. Genome Biology and Evolution, Oxford, v. 5, n. 1, p 200–216, 2013.

TARDY, Y. **Geoquímica Global**: oscilações climáticas e evolução do meio ambiente desde quatro bilhões de anos. Estudos Avançados, v. 11, n. 30, p. 149-173,1997.

VILLANUEVA, C. D.; GARVEY, A. D.; HAŠLER, P.; DVOŘÁK, P.; POULÍČKOVÁ, A.; NORWICH, A. R.; CASAMATTA, D. A. **Descriptions of** *Brasilonema geniculatum* and *Calothrix dumus* (Nostocales, Cyanobacteria): two new taxa isolated from cemetery tombstones. Phytotaxa, v. 387, n. 1, p. 1-20, 2019.

WHITTAKER, R. H. **New concepts of kingdoms of organisms**. Science, v. 163, n. 3863, p. 150-160, 1969.

WOESE, C. R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M. L. **Towards a natural system of organisms**: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 87, n. 12, p. 4576-4579, 1990.

## Explore +

Busque no YouTube o vídeo *As teorias de Darwin*, disponível no canal Elesapiens. É uma animação que conta, de modo breve, a teoria da evolução consolidada por Darwin. É um convite para compreender as bases da filogenia.

Pesquise o artigo *A história da taxonomia no ensino de botânica a partir de atividades práticas*, de Nathália Vieira Silva e colaboradores (2020), e veja como os autores contam a história da botânica associada à sua taxonomia propondo atividades práticas para alunos em idade escolar.

Confira também a matéria *How hot were the oceans when life first evolved?*, disponível no site da NASA, na seção de Astrobiologia. A matéria fala sobre as condições climáticas nos oceanos no tempo em que a vida surgiu no planeta.

Não deixe de ler esta matéria da BBC Brasil, na seção BBC Travel: *Estromatólitos: como a forma de vida mais antiga conhecida ajudou a tornar a Terra habitável*, escrita por Marian McGuinnes, de março de 2021. Ela mostra estromatólitos ao longo da Austrália, inclusive na região de Pilbara, onde foram encontrados os registros fósseis mais antigos do planeta.

Ainda temos mais uma indicação para você: *Geosmina: a ponta do iceberg*, matéria escrita por Viviane Tavares, de março de 2020, disponível no portal da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio. Trata sobre a questão da geosmina produzida por cianobactérias que contaminam corpos de água responsáveis pelo abastecimento de água da cidade do Rio de Janeiro.